МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф. МОРОЗОВА»

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ: НОВЫЕ ПАРАДИГМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ. FORESTRY – 2025

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО ЛЕСНОГО ФОРУМА, ПРИУРОЧЕННОГО К ПРАЗДНОВАНИЮ 95-ЛЕТИЯ ВГЛТУ

Воронеж, 30 сентября 2025 г.

Воронеж 2025

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER EDUCATION
«VORONEZH STATE UNIVERSITY OF FORESTRY AND TECHNOLOGIES
NAMED AFTER G.F. MOROZOV»

FORESTRY IN THE CONTEXT OF GLOBAL CHALLENGES: NEW PARADIGMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT. FORESTRY – 2025

MATERIALS OF THE INTERNATIONAL FORESTRY FORUM, DEDICATED TO THE CELEBRATION OF THE 95TH NNIVERSARY OF VSUFT

Voronezh, September 30th, 2025

Voronezh 2025

УДК 630
Л50

Л50 Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Международного лесного форума, приуроченного к празднованию 95-летия ВГЛТУ, Воронеж, 30 сентября 2025 г. / отв. ред. Н. В. Яковенко ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2025. – 898 с. – URL: https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2025/lesnoe-hozyajstvo-v-usloviyah-globalnyh-vyzovov-novye-paradigmy-ustojchivogo-razvitiya-forestry-2025/. – Текст: электронный.

ISBN 978-5-7994-1203-6

В сборнике материалов Международного лесного форума «Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований, направленных на формирование новых научных парадигм в области лесного хозяйства. Издание, приуроченное к 95-летию Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, консолидирует научный потенциал ведущих исследовательских школ России и зарубежья.

Структура сборника отражает комплексный междисциплинарный подход к решению актуальных проблем лесного сектора. В рамках пяти тематических секций детально исследуются методологические и технологические аспекты современных направлений: инновационные биотехнологии воспроизводства лесных генетических ресурсов, экономико-управленческие модели циркулярной экономики в лесопользовании, концепции лесной инженерии на основе предиктивной аналитики, а также цифровые решения в лесоводстве и лесоустройстве, основанные на данных дистанционного зондирования Земли.

Сборник репрезентует современный уровень развития лесной науки и предназначен для научных сотрудников, преподавателей высшей школы, аспирантов, магистрантов и специалистов, чья деятельность связана с решением стратегических задач в области устойчивого управления лесными экосистемами.

УДК 630

Материалы публикуются в авторской редакции, ответственность за содержание статей несут авторы.

ISBN 978-5-7994-1203-6 © ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2025

Содержание

СЕКЦИЯ 1. ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕСОВ

Алаева Л.А., Девятова Т.А., Негробова Е.А., Алаев А.А.	ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК ДУБРАВ РАЗНЫХ ТИПОВ МЕСТНОСТИ ДОНО-ВОРОНЕЖСКОГО ВОДОРАЗДЕЛА	14
Бородинцева Л.И.	ПЛОДОНОШЕНИЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ И НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ	21
Варгузина М.Г., Яковенко Н.В., Старухина Е.А.	ЭКОСИСТЕМНЫЕ И РЕКРЕАЦИОННЫЕ УСЛУГИ ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЙ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ	28
Волошина О. В.	НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ОЗЕЛЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МЕГАПОЛИСЕ: САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫЕ ЗОНЫ И ОБЪЕКТЫ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА	35
Гарфутдинова С.И., Мартынова М.В., Габделхаков А.К., Исламова Д.Ф.	РОСТ КУЛЬТУР ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНЫЙ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. УФЫ)	42
Ермакова М.В.	ОСОБЕННОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПО ВЫСОТЕ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS L.) В ЗАУРАЛЬЕ	47
Коба В.П., Нагорняк А.А.	ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РОСТА *QUERCUS PUBESCENS* WILLD НА ЮГЕ РОССИИ	55
Козырьков И.К., Карбасников А.А.	СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РОСТА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ)	60
Кудинов П.А., Чернышов М.П.	ОСОБЕННОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В ЗАДОНСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ	67
Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А.	ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДАПТАЦИИ СОСНЫ ОБЫНОВЕННОЙ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В СИБИРИ	74
Лапицкая О.В.	СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В БЕЛАРУСИ	80

Лисицын В.И., Матвеев Н.Н., Евсикова Н.Ю., Камалова Н.С.	ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО (АНАЛИТИЧЕСКОГО) МОДЕЛИРОВАНИЯ НАСАЖДЕНИЙ ДУБА (QUERCUS) НА ПРИМЕРЕ ЛОКАЛЬНЫХ ТАБЛИЦ ХОДА РОСТА В ПЛАНЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ	90
Макаров Н.А., Папельбу В.В.	ЕСТЕСТВЕННЫЙ АРЕАЛ И ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗРАСТАНИЯ JUNIPERUS EXCELSA BIEB. НА ЮГЕ РОССИИ	100
Малышева В.И.	ПРИЖИВАЕМОСТЬ И СОХРАННОСТЬ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕСНИЧЕСТВАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ	107
Мартынова М.В.,Гарфутдинова С.И., Одинцов Г.Е.,Габделхаков А.К.,Рафикова Д.А.	АНАЛИЗ ДИНАМИКИ NDVI РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПАРКА ИМ. М. ГАФУРИ Г. УФЫ	115
Полякова Г. Г., Соколова Н. В.	ЕСТЕСТВЕННОЕ ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ: СОСНОВЫЕ МОЛОДНЯКИ НА ЗАБРОШЕННЫХ ПАШНЯХ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ ПОДТАЙГИ	120
Приходько О.Ю.	АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСОВ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ЛЕСНОМ ФОНДЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ	127
Проказин Н.Е. Родин С.А.Казаков И. В., Лобанова Е.Н., Сахнов В.В.	ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПОДПОЛОГОВЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН	133
Раван Ж., Григорьева О.И.	ПОВРЕЖДЕНИЕ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ	137
Сиволапов А.И.	ПРАКТИЧЕСКИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ВКЛАД ВОРОНЕЖСКИХ ЛЕСОВОДОВ-СЕКЦИОНЕРОВ В ПОВЫШЕНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ И УЛУЧШЕНИИ КАЧЕСТВА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР	145
Старухина Е.А., Яковенко Н.В., Варгузина М.Г.	КУЛЬТУРНЫЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ГОРОДСКИХ ЛЕСОВ: ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И БЛАГОПОЛУЧИЯ НАСЕЛЕНИЯ	152
Третьякова И.Н., Пак М.Э., Лукина А.В., Помыткин Н.С., Носкова М.А.	ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ ХВОЙНЫХ С ОДНОЛЕТНИМ И ДВУХЛЕТНИМ РЕПРОДУКТИВНЫМ ЦИКЛОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СОМАТИЧЕСКJОГО ЭМБРИОГЕНЕЗА В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*	158
Тюкавина О.Н., Сентемов А.А., Сурина Е.А.	АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ ГАЗОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ	166

Ходосова Н.А., Мануковская В.Е, Баранова П.Е., Черных П.В.	ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ И ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ	173
Шешницан Т. Л.	МИКОРИЗНЫЙ СИМБИОЗ И ЕГО РОЛЬ В УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ: ОТ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА К ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЮ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ	179
СЕКЦИЯ 2. УСТОЙЧИВОЕ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЕ. ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА		
Аверина В.В., Дружинин Ф.Н.	КЛЮЧЕВЫЕ БИОТОПЫ В СОХРАНЕНИИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ТЕРРИТИРОРИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ	191
Азарова Н.А.	ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ МИРОВОЙ И РОССИЙСКОЙ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ	199
Вайс А.А., Данилюк Д.Я., Волкова Д.О., Зентерекова М.А.	ПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ НА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЛЯХ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ	207
Горяева Е.В., Собачкин Д.С., Кузьмик Н.С.	СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОБЪЁМОВ НЕЗАКОННО ЗАГОТОВЛЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ	210
Григорьев В.И.	ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА РОССИИ И ГОСУДАРСТВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ В ОБЛАСТИ НЕДРЕВЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ ЛЕСА	220
Гурченко В.И., Яковенко Н.В.	ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАДРОВУЮ СИТУАЦИЮ В ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ	229
Зиновьева И.С., Терехова П.С.	ПРОБЛЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РФ	235
Иванова А.В.	ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕГИОНОВ НА ОСНОВЕ ДЕКАПЛИНГ-АНАЛИЗА	241
Корякина Д.М., Дружинин Ф.Н.	АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ НА ПРИМЕРЕ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОЛИГОНА АО БАБАЕВСКИЙ ЛЕСПРОМХОЗ	248
Кузнецов Д.К.	ПРИНЦИПЫ УЧЁТА РИСКОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЛЕСОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ	255
Макаренко Н.Н.	ЛЕСОПАРКОВЫЕ ЗЕЛЕНЫЕ ПОЯСА КАК ЭЛЕМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ:	262

	ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ	
Марчук И.И.	КРИТЕРИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ МАЛОЛЕСНЫХ РЕГИОНОВ	267
Минина Н.В., Пыльцина М.В.	ЗАКЛЮЧЕНИЕ ТРУДОВОГО ДОГОВОРА В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ПРОБЛЕМЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	276
Мижуй С.М., Гончарик Ю.М., Буян А.И.	БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КЛЮКВЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *(VACCINIUM OXYCOCCOS)* БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ ЗАКАЗНИКА «ОЛЬМАНСКИЕ БОЛОТА» СТОЛИНСКОГО РАЙОНА	284
Литовченко Д.А., Матвеев С.М., Молчанов В.В.	ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ РЕАКЦИЯ НА ЗАСУХИ 68-ЛЕТНИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ОБЪЕКТА «СТУПИНСКОЕ ПОЛЕ» (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)	291
Небесная А.Ю.	АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В МАЛОЛЕСНЫХ РЕГИОНАХ	299
Осипов А.А.	КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ	303
Осипов А.А.	МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛЕНОЙ» ЭКОНОМИКИ	310
Писарев А.Е.	ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДРЕВЕСНОГО РОСТА	317
Писарева Д.А., Бекетова Д.Ю.	УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ	323
Самбуу А.Д., Нажик М.К., Салчак А-Х.В.	СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОГО ФОНДА РЕСПУБЛИКИ ТЫВА И СОХРАНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА	329
Степанова Ю. Н., Колесник Д. К.	ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ	337
Сухачева В.И., Филипповская Е.М.	НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПЕРЕХОД К «ЗЕЛЕНОЙ» ЭКОНОМИКЕ ТЕРРИТОРИЙ ЦЧР В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ	344
Сультсон С.М., Михайлов П.В., Кулакова Н.Н., Попова В.В.	МАСШТАБЫ ДЕГРАДАЦИИ ТЕМНОХВОЙНОЙ ТАЙГИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНВАЗИИ ПОЛИГРАФА УССУРИЙСКОГО В ГРАНИЦАХ ЛЕСОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ	349

Терёшина М.В., Яковлева Е.А.	ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В ЛЕСНОМ СЕКТОРЕ РЕГИОНА: ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ И ПЛАТЕЖЕЙ ЗА ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ	353
Чаплыгина В.А., Положенцева Ю. С.	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ БИОЭКОНОМИКОЙ: ЗАРУБЕЖНЫЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ	361
Яковенко Н.В., Комов И.В., Колотушкин А.А.	ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ РЕГИОНЕ	370
СЕКЦИЯ 3. ГЕНЕТИКА, ПОСТГЕНОМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, БИОТЕХНОЛОГИИ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО		
Авдонина А.Е.	ГЕНЕТИЧЕСКИ ОПТИМИЗИРОВАННЫЕ САЖЕНЦЫ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ПЛАТФОРМЫ: СИБМИОЗ БИОТЕХНОЛОГИЙ И АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ	376
Александрова Ю.В.	РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ САМООПЫЛЕНИЯ ВИДОВ РОДА CRATAEGUS L.	386
Голев А.Д., Иванников В.А., Бухтояров В.Н., Кораблёв Р.А., Голева Г.Г.	ВЛИЯНИЕ КАЛИБРОВАНИЯ СЕМЯН НА ВЫСОТУ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ИХ ВЫРАЩИВАНИИ В ПИТОМНИКЕ	393
Демина Н.А.	ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ИНТЕНСИВНОЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)	400
Евлаков П.М., Цепляев А.Н., Камаева А.А., Попова В.Т.	ОЦЕНКА РОСТА И РАЗВИТИЯ САЖЕНЦЕВ ГИБРИДА ТОПОЛЯ БЕЛОГО НА ОСИНУ С ЗКС, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ IN VITRO	408
Корчагин О.М., Царев В.А.	ОПЫТ РАЗМНОЖЕНИЯ «ТОПОЛЯ ПОБЕДЫ» УЧЁНЫМИ ВСЕРОССИЙСКОГО НИИ ЛЕСНОЙ ГЕНЕТИКИ, СЕЛЕКЦИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ (В ГОД 80-ЛЕТИЯ ПОБЕДЫ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ 1941-1945 ГГ.)	415
Кузнецова Г.В.	СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА КЕДРА КОРЕЙСКОГО (*PINUS KORAIENSIS* SIEBOLD ET ZUCC.) В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ НА ЮГЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ	424
Куттуева М.А.	ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРИЖИВАЕМОСТИ САЖЕНЦЕВ	429

Левин С.В.	БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РОСТА И РАЗВИТИЯ КЕДРА СИБИРСКОГО В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ ЛЕСОСТЕПИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ	435
Левин И.С., Левин С.В.	АНАЛИЗ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОРЫ ПСЕВДОТСУГИ МЕНЗИСА, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЕЕ ИНТРОДУКЦИЕЙ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ	442
Пивоваров М.А., Цепляев А.Н.	ИЗУЧЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ ХРЕНОВСКОГО БОРА	449
Рязанцева О.С., Цепляев А.Н.	АНАЛИЗ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ИНТРОДУЦЕНТОВ (Г. ВОРОНЕЖ)	455
Тихонова-Латинская Л.А., Цепляев А.Н.	ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ НИВАКИ ИЗ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS L.) В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПИТОМНИКЕ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)	463
Трапезникова Е. И.	ОЦЕНКА ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ ТОПОЛЕЙ (POPULUS L.) ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ	471
Царев В.А., Царев А.П., Царева Р.П., Милигула Е.Н.	ОТБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ КЛОНОВ ТОПОЛЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КАРБОНОВЫХ ПЛАНТАЦИЙ В ЦЧР	480

СЕКЦИЯ 4. ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ: НОВЫЕ КОНЦЕПЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ

Арико С.Е., Гордейчик А.А., Войнаш С.А., Гарькин И.Н., Соколова В.А.	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ХАРВЕСТЕРНОЙ ГОЛОВКИ	488
Баканач Е.А., Угрюмов С.А.	АНАЛИЗ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА	495
Бургонутдинов А.М., Клевеко В.И., Сергеев А.С.	ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПЕРЕХОДНОГО ТИПА С ГЕОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ПРОСЛОЙКОЙ НА ДОРОГАХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ И ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГАХ	501
Должиков И.С., Куницкая О.А., Михайлова Л.М.	ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН НА ЛЕСОСЕЧНЫХ И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТАХ	512
Добрецов Р.Ю., Добрецова С.Б. Войнаш С.А., Соколова В.А.	МЕЖОСЕВОЙ МЕХАНИЗМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ДЛЯТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН	521

Дорохин С.В., Котов Р.А.	ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В МЕГАПОЛИСАХ	525
Дорошенко А.В.	КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА КОБАЛЬТА И БИОУГЛЯ: ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	531
Жужукин К.В., Дорошенко А.В., Савченко С.И., Майер Е.И., Тарасова А.С.	ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФАНЕРЫ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО С ДОБАВЛЕНИЕМ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК	536
Еремин С.В., Новиков А.Н., Шевцова А.Г.	НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ В МЕГАПОЛИСАХ	541
Ефимова Т.В., Ищенко Т.Л., Грачев Д.С., Ефимов Р.В.	ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ МЕБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ РФ	547
Галкина Е.А., Куницкая О.А.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ И УЧЁТА КОРЫ НА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛАХ	555
Карпачев С.П., Абразумов В.В.	ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МАШИНЫ ДЛЯ ВЫБОРОЧНЫХ САНИТАРНЫХ РУБОК	563
Карпачев С.П., Абразумов В.В.	ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВАЛЕЖНИКА	571
Кушляев В.Ф., Кушляев Д.В., Кушляева О.В., Стефанская Т.В.	ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА РАЗРАБОТКУ МАШИНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ С МАНИПУЛЯТОРОМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ, ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ НЕОТЛОЖНЫХ РАБОТ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА	578
Кушляев В.Ф., Кушляев Д. В.,Кушляева О.В.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И КОМПЛЕКС МАШИН С ОКОРКОЙ ДЕРЕВЬЕВ НА ЛЕСОСЕКЕ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ СУХОСТОЙНОЙ, ПОСЛЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ, ЗАРАЖЕННОЙ РАДИАЦИЕЙ	597
Мирошников Е.В., Глаголев С.Н., Новиков И.А.	СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК	613
Мохирев А.П., МедведевС.О.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ	618

Никитин В.В., Ветров А.В.	ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРЫТИЯ ЗИМНИХ ЛЕСНЫХ ДОРОГ ПОД НАГРУЗКАМИ	629
Никулина Н.С.	ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ПРОПИТЫВАЮЩЕГО СОСТАВА ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИБУТАДИЕНА	639
Полумиско А.А., Камалова Н.С., Евсиков И.Д.	РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРА, СНАБЖЁННОГО МАГНИТНЫМ ДЕМПФИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ	646
Пономаренко Л.В., Кантиева Е.В.	ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АКТУАЛЬНОЙ МЕБЕЛИ	653
Сиваков В.В., Заикин А.Н.	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРЕЛЕВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ	660
Трушевский П.В., Дьяченко В.М., Новиков М.С., Григорьев И.В.	ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ	669
Швецов А.С., Должиков И.С., Григорьева О.И., Григорьев И.В.	АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ НОРМЫ ВРЕМЕНИ	677
Федоров В.Ю., Есипова И.С.	ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ ЛЕСОЗАГОТОВКИ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ	685
Федоров В.Ю., Халяпин Д.Р.	БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ЛЕСА: ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ДЕЛЯНКИ ДО ПОТРЕБИТЕЛЯ РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ	690
Хоменко К.Г., Попикова А.В.	ЭКПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ЛЕСНОГО МАНИПУЛЯТОРА	700
СЕКЦИЯ 5. ЛЕСОВОДСТВО И ЛЕСОУСТРОЙСТВО. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ		
Абрасимовская А.Г.	ПРАВОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМАХ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ	707

Авдонина А.Е., Чураков А.В.	МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И СЕНСОРНЫЕ АРХИТЕКТУРЫ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ	712
Арапов Д.В.	МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ ДРЕВОСТОЕВ	719
Буренина Т.А., Данилова И.В., Корец М.А.	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НАРУШЕННОСТИ ЛЕСОВ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ В МАСШТАБАХ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ	728
Владимирова Е.П., Одинцов Г.Е.	ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ В АРЕНДУ ПОД ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ НЕДР НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНОГО УЧАСТКА СТЕРЛИТАМАКСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН	736
Голубев Д.А., Гула К.Е., Колобанов К.А., Каюмов Н.А., Голубева Н.А.	ОСОБЕННОСТИ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ БОЛЬШОГО ХЕХЦИРА	741
Гонтарова Д.Д.	ПРИМЕНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ РАЗНОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ	750
Горичев Ю.П.	О ВЫСОТНОМ ГРАДИЕНТЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ КЛИМАТА И ЕГО ОТРАЖЕНИИ НА СОСТАВЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ВОЗВЫШЕННОСТЯХ РУССКОЙ РАВНИНЫ	756
Горяева Е.В.	РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ ГИС-АНАЛИЗА	762
Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Полуэктов А.В.	СИНТЕЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И КОРРЕКЦИЯ ДИСБАЛАНСА КЛАССОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ	773
Мурзакматов Р.Т, Шишикин А.С.	ВЕДЕНИЕ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В СИБИРИ	786
Колесниченко Е.А., Оробинский В.А.	ТЕНДЕНЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ АГРОЛЕОСВОДСТВА ЗА РУБЕЖОМ: СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ	790
Колесниченко Е.А., Лопатин В.Л.	РАЗВИТИЕ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ В РОССИИ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ	797

Коченгина О.Е.	ВЫЗОВЫ МАСШТАБИРУЕМОСТИ, ЭТИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ, И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРИМЕНЕНИИ БПЛА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕСНОГО МОНИТОРИНГА	803
Коченгина О.Е.	ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ: ОТ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ДО ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА	811
Лапшина М.Л.	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В ВОПРОСАХ РАЗВИТИЯ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	818
Нацентова Е.А., Яковенко Н.В., Желенков О.Г., Марков Д.С.	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС	824
Потапова Е. В.	ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ГОРОДСКИХ ЛЕСОВ КАК ОСНОВА СМАРТ-ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ	829
Сидоренков В.М., Ачиколова Ю.С., Мартынюк А.А., Тадорошко С.К., Сидоренкова Е.М., Астапов Д.О., Рябцев О.В., Сережкин А.В.	ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОРОД В СОРТИМЕНТАХ ДРЕВЕСИНЫ	837
Соколов В. А., Втюрина О. П.,Соколова Н. В.	ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В НИЖНЕМ ПРИАНГАРЬЕ	843
Стородубцева Т.Н., Морковин В.А., Саврико В.В.	БЕСПИЛОТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОЗАГОТОВКЕ: ВЫЗОВЫ, БАРЬЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ	851
Стородубцева Т.Н., Морковин В.А., Жабин Д.С.	КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ	857
Трещевская Э. И., Тихонова Е. Н., Голядкина И. В., Бобрешов К. В.	ХАРАКТЕРИСТИКА ОТХОДОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА «ГРАЧЕВ ЛОГ» КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ	864
Федюнин П.Г., Яковенко Н.В., Марков Д.С.	ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) В ПРОЦЕСС ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ	870
Фролов С.В., Фролова В.С.	ЦИФРОВОЙ ЛЕС: ОТ ДАННЫХ К РЕШЕНИЯМ. КАК БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ И IOT СОЗДАЮТ НОВУЮ ПАРАДИГМУ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМ СЕКТОРОМ	877

Чернышов М.П.	ФОРМУЛА СОСТАВА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ИХ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ЛЕСОВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЦЕННОСТИ	883
Чураков А.В., Куттуева М.А.	ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ БПЛА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЗООЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ	890

DOI: 10.58168/Forestry2025_14-20
УДК 630.114.351

ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК ДУБРАВ РАЗНЫХ ТИПОВ МЕСТНОСТИ ДОНО-ВОРОНЕЖСКОГО ВОДОРАЗДЕЛА

Л.А. Алаева, Т.А. Девятова, Е.А. Негробова, А.А. Алаев

к.б.н., доцент кафедры экологии и земельных ресурсов,
д.б.н., профессор, заведующий кафедрой экологии и земельных ресурсов
ассистент кафедры экологии и земельных ресурсов
магистр 2 года обучения кафедры экологии и земельных ресурсов
Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Аннотация.

Доно-Воронежский водораздел характеризуется сложным геоморфологическим строением, что предопределило формирование неоднородного рельефа и чередование различных типов местности на ограниченной территории. Подпологом дубрав, произрастающих в различных микроклиматических, эдафических и топоусловиях, формируются лесные подстилки различной структурной организации. Представлены результаты исследований мощности, фракционного состава, запасов и влажности лесных подстилок дубрав разных типов местности.

Ключевые слова: дубрава, лесная подстилка, фракционный состав, мощность, запас.

FEATURES OF FOREST LITTER OF OAK FORESTS OF DIFFERENT TYPES OF TERRAIN IN THE DONO-VORONEZH WATERSHED

L.A. Alaeva, T.A. Deviatova, E.A. Negrobova, A.A. Alaev

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Land Resources, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Land Resources, Assistant of the Department of Ecology and Land Resources, Master of 2 years of study at the Department of Ecology and Land Resources

Voronezh State University, Voronezh, Russia

Abstract.

The Dono-Voronezh watershed is characterized by a complex geomorphological structure, which predetermined the formation of a heterogeneous relief and the alternation of various types of terrain in a limited area. Under the canopy of oak forests growing in various microclimatic, edaphic and topological conditions, forest litter of various structural organization is formed. The results of studies of the thickness, fractional composition, reserves and humidity of forest litter of oak forests of different types of terrain are presented.

Keywords: oak forests, forest litter, fractional composition, capacity, reserve.

© Алаева Л. А., Девятова Т. А., Негробова Е. А., Алаев А. А., 2025

Территория Доно-Воронежского водораздела находится на стыке двух крупных орографических единиц – Среднерусской возвышенности (правобережная часть с абсолютными отметками 100-250 м) и Окско-Донской равнины (левобережная часть с абсолютными отметками 100-170 м) и имеет сложную геолого-геоморфологическую историю. Структурно-геоморфологические условия правобережной и левобережной частей Среднего Дона различны. Правобережная часть, представленная формами рельефа Среднерусской возвышенности, характеризуется ярусным строением в виде серии эрозионно-денудационных ступеней, выработанных преимущественно на меловых породах. Ступени формировались, начиная с позднего плиоцена в связи со спорадическим поднятием территории. Самой высокой ступенью является первая плиоценовая с абсолютными отметками 215-220 м. В нее врезана вторая эоплейстоценовая ступень с отметками 180-200 м. Третья ступень, датированная первой половиной раннего неоплейстоцена, имеет отметки 160-180 м, и четвертая ступень второй половиной раннего неоплейстоцена находится на отметке 120-140 м.

Левобережная часть Дона сложена плиоценовыми, эоплейстоценовыми и ранненеоплейстоценовыми преимущественно аллювиальными отложениями. Аллювий сформировался согласно аккумулятивным циклам, соответствующим числу денудационных ступеней правобережья Дона. Сопряженность циклов осадконакопления левобережья с денудационными ступенями правобережья указывает на одновременное их формирование. При этом равнинная часть левобережья испытывала опускание, а возвышенная часть правобережья – поднятие. В раннем неоплейстоцене произошло резкое похолодание климата и становление максимального донского оледенения. Последствием его являются накопления моренных и флювиогляциальных образований. Моренные суглинки наиболее широко распространены в Подворонежье, а в долине Дона они размыты. На морене залегают флювиогляциальные отложения, которые по генезису отвечают времени отступания донского оледенения. Пески слагают Воронежский оз, который возвышается над урезом Дона на 70-80 м. Пески оза по простиранию замещаются водораздельным зандром, который на левобережье залегает на кривоборских песках, а на правобережье – на морене. Средне- и поздненеоплейстоценовое время выразилось формированием четырех надпойменных террас: самой древней четвертой, которая врезана во флювиогляциальные отложения третьей, второй и первой. Относительные превышения четырех террас над урезом воды долины Дона составляют 50-60, 30-35, 18-25 и 8-10 (15) м соответственно. В голоценовое время сформировалась пойма, относительная высота которой составляет от 3 до 7 м [2].

В таких неоднородных геоморфологических условиях сформировались островки лесных массивов, среди которых преобладают дубравы. Для изучения лесных подстилок дубрав были заложены пробные площадки на останцово-водораздельном типе местности (ПП2), надпойменно-террасовом (ПП1, ПП3, ПП5), склоновом (ПП6) и пойменном (ПП4). Согласно классификации дубрав по приуроченности к различным ландшафтным условиям произрастания, предложенной В.Б. Михно [3], исследуемые дубравы можно отнести к следующим типам (таблица 1):

Таблица 1. Типы дубрав Доно-Воронежского водораздела

Таксон	Ландшафты			
Семейство	Лесостепные			
Класс	Долинно-речные			Междуречные
Подкласс	Ассиметрично-нейтральные			Ассиметричные
Тип	Склоновые (приречные)	Надпойменно-террасовые	Пойменные	Плакорные
Вид (№ пробной площадки)	Дубрава осоко-снытиевая на серых	Дубрава ландышевая на дерново-элювоземах супесчаных нижних террас р. Дон (ПП1),	Дубрава земляничная на аллювиальных суглинках	Дубрава осоковая на темно-серых лесных

	суглинистых почвах коренного склона р. Воронеж (ПП6)	клено-липо-дубняк разнотравный на серых суглинистых почвах, подстилаемых древнеаллювиальными отложениями высоких террас р. Дон (ПП3), судубрава снытевая на дерново-элювоземах песчано-супесчаных низких террас р. Усманка (ПП5)	центральной поймы р. Воронеж (ПП4)	суглинистых почвах водораздела Ведуга-Дон (ПП2)

Все пробные площадки имеют специфические особенности геологического строения (таблица 2), описание которых проводилось с использованием альбома геологических разрезов ЦЧР [4].

Таблица 1. Геологическое строение пробных площадок

Пробные площадки (абсолютная высота, м)	Тип местности	Геологическое строение
ПП2 (190)	Останцово-водораздельный, водораздел Ведуга-Дон	Мощность четвертичных отложений составляет около 20м, представлены покровными и делювиальными отложениями и ледниковыми отложениями днепровского возраста ($prQ_{2,3}$ – glQ_1dn). Залегают на отложениях верхнего и нижнего мела (Cr_2-Cr_1), которые подстилаются породами верхнего девона (D_3)
ПП4 (90)	Пойменный, центральная пойма р. Воронеж	Мощность четвертичных отложений составляет 12 м, которые представлены поверхностным ярусом современного аллювия (alQ_4), состоящего из пород глинистого состава с поверхности и мелкозернистого песка в основании, глубже современный аллювий подстилается древнеаллювиальными крупнозернистыми песчаными отложениями ($al(1t)Q_3$). Глубже подстилаются девонскими глинами (D_3)
ПП1 (118)	Надпойменно-террасовый, нижняя надпойменная терраса р.Дон	Мощность четвертичных отложений составляет 42 м, которые представлены древним аллювием (alQ_3). С поверхности залегает толща средне- и мелкозернистого песка мощностью около 18 м, ниже переходит в крупнозернистый песок с прослойкой глин. Глубже подстилаются девонскими отложениями (D_3)
ПП3 (160)	Надпойменно-террасовый, IV терраса р. Дон	Мощность четвертичных отложений составляет 62 м, которые представлены древним аллювием ($al(4t)Q_1$). С поверхности залегает суглинистый чехол мощностью около 15 м, ниже подстилается тонкой глинистой прослойкой, глубже которой идет чередование глинистых

		песков, глин и песков разной зернистости. Глубже подстилаются неогеновыми отложениями (N_2)
ПП5 (114)	Надпойменно-террасовый, II НПТ р. Усманка	Мощность четвертичных отложений составляет 40 м, которые представлены древним аллювием ($al(2t)Q_3$). С поверхности залегает толща средне- и мелкозернистого песка мощностью около 34 м, ниже переходит в тонкий слой крупнозернистого песка. Глубже подстилаются девонскими глинами (D_3)
ПП6 (160)	Склоновый, коренной склон р. Воронеж	Мощность четвертичных отложений составляет 60 м, которые представлены древним аллювием $al(4t)Q_2$). С поверхности залегают суглинки, сменяющиеся чередованием мелко- и среднезернистого песка с включением прослоек глин и крупнозернистого песка. Глубже подстилаются неогеновыми глинами (N_2)

Отбор лесных подстилок проводили в начале вегетационного периода (май 2025 года) в пределах каждой пробной площадки под кроной деревьев дуба черешчатого – основных эдификаторов на расстоянии от стволов не менее 1,5 м. Отбор производился с использованием рамки 25х25 см на всю мощность лесной подстилки до минерального горизонта. Образец подстилки не разбирался на горизонты, так как под пологом широколиственных лесов исследованной территории стратификация на разные по степени разложения слои отсутствует.

Важным экологическим показателем лесной подстилки является ее мощность, по значениям которой можно судить о преобладании аккумулятивных или деструктивных процессов. По данному показателю, согласно классификации Богатырева Л.Г. [1], лесные подстилки всех типов дубрав данной катены относятся к деструктивным примитивным очень маломощным (менее 5 см) лиственным, что свидетельствует о преобладании процессов разрушения лесной подстилки под пологом дубрав над накоплением. Однако максимальные значения мощности лесной подстилки (4,85±1,95 см) зафиксированы на плакорах под дубравами осоковыми на темно-серых лесных суглинистых почвах (таблица 3).

Существенное значение для биологического круговорота веществ в лесных экосистемах имеют запасы лесной подстилки. В начале вегетационного периода, когда основная масса легкодоступного детрита уже использована деструкторами, а новой порции опада еще не поступило, запасы лесной подстилки составляют 2,1-7,2 т/га, исключение составляет старовозрастная судубрава снытевая на дерново-элювоземах песчано-супесчаных низких террас р. Усманка, под которой зафиксированы 27,0 т/га. Такая величина запаса обусловлена максимальными значениями плотности (0,171 г/см^3) при минимальных значениях мощности.

Таблица 3. Экологические показатели и запасы лесной подстилки разных типов дубрав

Тип дубравы	Мощность, см (среднее значение, x±σ)	Влажность, %	Плотность, г/см3	Запасы, т/га
Плакорные ПП2	4,85±1,95 (n=7)	7,2	0,005	2,10
Пойменные ПП4	4,50±1,70 (n=10)	8,8	0,007	2,48
Надпойменно-террасовые: ПП1	4,71±0,95 (n=7)	10,7	0,010	4,44
ПП3	1,89±1,54 (n=9)	10,3	0,018	3,15
ПП5	1,70±2,06 (n=10)	7,4	0,171	27,0
Склоновые (приречные), ПП6	2,90±0,77 (n=10)	30,2	0,032	7,21

Запасы лесных подстилок зависят как от биоценотических показателей лесной экосистемы, так и от таких физических свойств, как мощность, влажность и плотность лесной подстилки. Для определения степени этой зависимости были построены логарифмические линии тренда, которые используется для описания экспериментальных данных, убывающих или возрастающих с переменной скоростью. Зависимость запасов от влажности описывается уравнением логарифмической линии тренда $y = -2{,}991\ln(x) + 14{,}839$, при коэффициенте детерминации $R^2 = 0{,}0272$, зависимость запасов от мощности описывается уравнением $y = -13{,}47\ln(x) + 23{,}137$ ($R^2 = 0{,}4403$), зависимость запасов от плотности описывается уравнением $y = 6{,}9086\ln(x) + 35{,}469$ ($R^2 = 0{,}8539$). Таким образом, для деструктивных лесных подстилок на всех ландшафтных уровнях катены выявлена наиболее тесная прямая зависимость запасов лесной подстилки от ее плотности, что подтверждается коэффициентом детерминации, максимально близким к 1. Это подтверждается результатами исследования для дубравы ПП5, где при средней мощности лесной подстилки 1,70±2,06 см и ее плотности 0,171 г/см^3 формируются максимальные запасы 27,0 т/га.

Особое значение при характеристике лесных подстилок имеет их фракционный состав, который отражает степень выраженности деструктивных процессов и скорость возврата органо-минеральных веществ в почвы. Доля листьев главного эдификатора широколиственной лесной экосистемы в составе лесной подстилки является важным показателем скорости возврата продуктов деструкции в биологический круговорот. Пойменные дубравы земляничные формируют лесную подстилку с максимальным количеством листового опада главного эдификатора – дуба черешчатого, 56,4% (таблица 4). Второе место по этому показателю занимают надпойменно-террасовые дубрава ландышевая и клено-липо-дубняк разнотравный – 47,9 и 44,6 % соответственно. На третьей позиции плакорная дубрава осоковая (33,3 %) и склоновая (приречная) дубрава осоко-снытиевая на коренном склоне р. Воронеж (31,5 %). Особое место занимает старовозрастная судубрава снытиевая, произрастающая на низких террасах р. Усманки, 75% лесной подстилки которой приходится на трудно разлагаемую кору.

Таблица 4. Фракционный состав лесной подстилки дубрав разных типов местности

Фракции	ПП1	ПП2	ПП3	ПП4	ПП5	ПП6
	%	%	%	%	%	%
Листья/хвоя	47,9	33,3	44,6	56,4	5,8	31,5
Травянистые остатки	7,8	18,4	1,4	8,2	0,5	0,50
Труха	1,6	нет	нет	нет	нет	12,4
Ферментированная масса	19,3	2,9	19,8	27,8	1,8	6,8
Ветви	14,1	43,5	34,2	4,0	16,9	31,5
Шишки/Желуди	9,3	1,9	нет	3,6	нет	15,4
Остатки мхов/лишайники	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Кора	нет	нет	нет	нет	75,0	1,9
Полуразложившаяся древесина	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Итого	100	100	100	100	100	100

Для обобщения сведений о фракционном составе лесной подстилки все фракции были сгруппированы по степени выраженности деструктивного процесса в 3 блока: активная часть лесной подстилки, которая еще сохраняет морфологические признаки, форму и очертания, но легко разлагается (листья и травянистые остатки), пассивная часть, включающая мертвую органику из трудно разлагаемых компонентов (желуди, древесная кора, полуразложившаяся древесина) и фракцию менее 1 см, которая уже потеряла морфологические признаки в процессе первичной деструкции (труха и ферментированная масса).

Максимальное количество активной фракции (65%) содержится в лесной подстилке дубравы земляничной пойменного типа местности (ПП4), и, следовательно, здесь

максимально быстро включится в биологический круговорот продукты ее разложения (рисунок 1). На втором месте дубравы надпойменно-террасового типа местности (ПП1, ПП3) – 46-56%. За ними следуют дубравы, произрастающие на водоразделах (ПП2), – 52%. Только 32% активной фракции содержится в лесной подстилке дубравы коренного склона р. Воронеж. Минимальное количество быстро разлагаемой фракции (6%) содержится в лесной подстилке судубравы надпойменно-террасового типа местности, которая на 92% состоит из коры деревьев, что является характерной особенностью старовозрастного лесного массива (возраст отдельных дубов достигает более 300 лет).

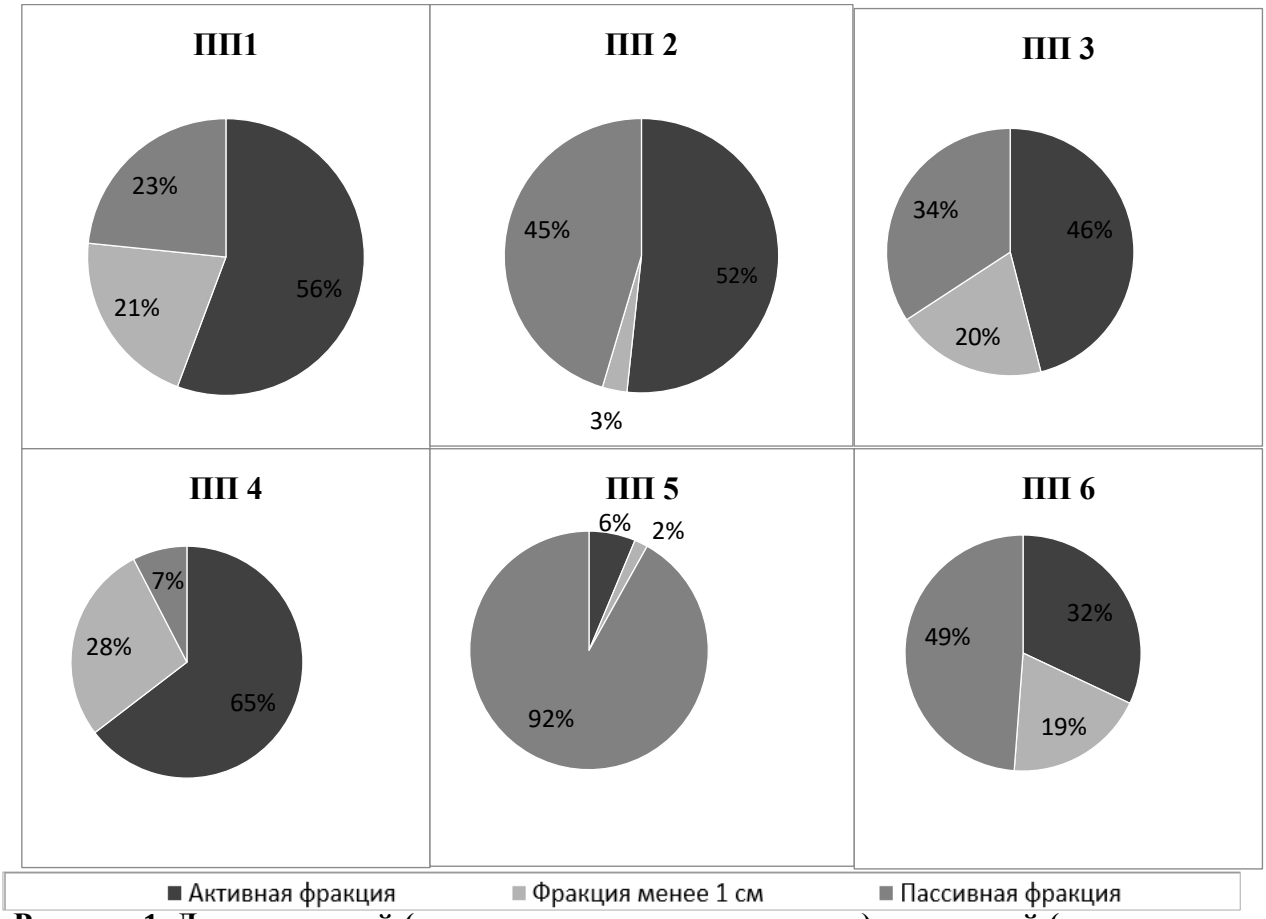


Рисунок 1. Доля активной (листья и травянистые остатки), пассивной (ветви, желуди, остатки мхов и лишайников, кора, полуразложившаяся древесина) и фракции менее 1 см (труха и ферментированная масса) в составе лесных подстилок разных типов местности

Таким образом, в результате изучения лесных подстилок дубрав разных типов местности Доно-Воронежского водораздела можно выделить следующие специфические особенности:

- лесные подстилки всех исследованных дубрав относятся к деструктивным примитивным очень маломощным лиственным;

- при анализе зависимости запасов лесной подстилки от ее мощности, плотности и влажности выявлена наиболее тесная прямая связь с плотностью ($R^2 = 0,8539$);

- по скорости деструктивных процессов и, соответственно, быстроте возврата продуктов разложения лесных подстилок в биологический круговорот дубрав разных типов местности можно расположить в порядке убывания в следующий вариационный ряд: пойменные дубравы> надпойменно-террасовые дубравы > плакорные дубравы > склоновые (приречные) дубравы.

Список литературы

1. Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. №3. С. 119-127.

2. Макеев В. М. Пикулик Е. А., Гусельцев А. С. Неотектонические структуры и современная геодинамика района среднего течения р. Дон (территория Новоронежской АЭС) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 64 (1). С. 75-87.

3. Михно В. Б. Ландшафтный аспект произрастания, дифференциации и структурной организации дубрав Среднерусской лесостепи // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2014. № 1. С. 9-17.

4. Хруцкий С. В., Смольянинов В. М., Косцова Э. В. Альбом геологических разрезов Центрально-Черноземных областей. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1974. 176 с.

References

1. Bogatyrev L.G. *O klassifikatsii lesnykh podstilok* [On classification of forest litter] *Pochvovedenie* [Soil Science]. 1990. №3. pp. 119-127.

2. Makeev V. M. Pikulik E. A., Gusel'tsev A. S. *Neotektonicheskie struktury i sovremennaya geodinamika raiona srednego techeniya r. Don (territoriya Novoronezhskoi AES)* [Neotectonic structures and modern geodynamics of the middle flow region of the Don river (the territory of the Novovoronezh nuclear power plant] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka* [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]. 2022. № 64 (1). pp. 75-87.

3. Mikhno V. B. *Landshaftnyi aspekt proizrastaniya, differentsiatsii i strukturnoi organizatsii dubrav Srednerusskoi lesostepi* [Landscape Aspects of Growth, Differentiation, and Structural Organization of Oak Forests in the Central Russian Forest-Steppe] *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of VSU. Series: Geography. Geoecology]. 2014. № 1. pp. 9-17.

4. Khrutskii S. V., Smol'yaninov V. M., Kostsova E. V. *Al'bom geologicheskikh razrezov Tsentral'no-Chernozemnykh oblastei* [Album of Geological Sections of the Central Chernozem Regions]. Voronezh: Publ. Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 1974. 176 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_21-27
УДК 630.165

ПЛОДОНОШЕНИЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ И НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.И. Бородинцева

к.с.-х.н. старший научный сотрудник ЗСО ИЛ СО РАН – филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Аннотация.

Приведены результаты исследования качественных показателей (всхожесть, энергия, масса 1000 шт. семян, класс качества). Исследования проводили в разновозрастных насаждениях березы повислой в лесничествах Алтайского края и Новосибирской области. Исследования показали, что по лесорастительным условиям всхожесть по Алтайскому краю варьируется от 1% до 83% и по Новосибирской области от 1% до 78%. Наиболее высокой энергией и вхожестью отличается в Алтайском крае Ракитовское лесничество (ленточно-боровой) 44,3х48,6%, в Новосибирской области Сузунское лесничество (приобский) 36,2х40,0 %.

Наименее изменчивым признакам являются масса 1000 шт. семян (средние коэффициенты вариации по регионам 15.3-15.6%). Промежуточными и довольно нестабильно воспроизводящимися по лесорастительным условиям являются коэффициенты вариации класса качества семян Алтайский край (51-77%) и Новосибирская область (55-88%). Очевидно, это обусловлено различиями в эффективности опыления в разных лесорастительных условиях.

Ключевые слова: *береза, всхожесть, качество семян, масса 1000 шт.*

PLODONOSHENIYE BEREZY POVISLOY V ALTAYSKOM KRAYE I NOVOSIBIRSKOY OBLASTI

L.I. Borodintseva

k.s.-kh.n. starshiy nauchnyy sotrudnik ZSO IL SO RAN – filial FITS KNTS SO RAN, Novosibirsk, Russia

Privedeny rezul'taty issledovaniya kachestvennykh pokazateley (vskhozhest', energiya, massa 1000 sht. semyan, klass kachestva). Issledovaniya provodili v raznovozrastnykh nasazhdeniyakh berezy povisloy v lesnichestvakh Altayskogo kraya i Novosibirskoy oblasti. Issledovaniya pokazali, chto po lesorastitel'nym usloviyam vskhozhest' po Altayskomu krayu var'iruyetsya ot 1% do 83% i po Novosibirskoy oblasti ot 1% do 78%. Naiboleye vysokoy energiyey i vkhozhest'yu otlichayetsya v Altayskom kraye Rakitovskoye lesnichestvo (lentochno-borovoy) 44,3x48,6%, v Novosibirskoy oblasti Suzunskoye lesnichestvo (priobskiy) 36,2x40,0 %.

Naimeneye izmenchivym priznakam yavlyayutsya massa 1000 sht. semyan (sredniye koeffitsiyenty variatsii po regionam 15.3-15.6%). Promezhutochnymi i dovol'no nestabil'no vosproizvodyashchimisya po lesorastitel'nym usloviyam yavlyayutsya koeffitsiyenty variatsii klassa kachestva semyan Altayskiy kray (51-77%) i Novosibirskaya oblast' (55-88%). Ochevidno, eto obuslovleno razlichiyami v effektivnosti opyleniya v raznykh lesorastitel'nykh usloviyakh.

Keywords: bereza, vskhozhest', kachestvo semyan, massa 1000 sht.

© Бородинцева Л. И., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Береза повислая – лучшая лиственная порода Западной Сибири. Используется в защитном лесоразведении и создании разнообразных декоративных насаждений – парков, аллеях и группах [10]. Береза малотребовательна к внешней среде и может произрастать в самых разнообразных условиях [11]. Широкое распространение березы говорит о ее высоком адаптивном потенциале, что представляет собой результат высокой приспособленности и плодовитости [6]. Успех семенного размножения зависит: от количества и качества семян; от условий их произрастания и дальнейшего развития. В лесостепи Красноярского края для березы повислой выявлена двухлетняя периодичность плодоношения. В северо-восточной промышленной окраине города Красноярска наблюдается снижение энергии и всхожести семян березы на 18.1-29.3%. А в 20 км от города жизнеспособность семян березы составила 80.4-80.8%, что соответствует первому классу качества. Функциональные характеристики семян березы (всхожесть и энергия прорастания) могут служить прямыми показателями экологических условий произрастания [1]. В Западной Сибири периодичность плодоношения березы повислой через один год. 270 тонн семян, собранных с 1970 по 1980 гг., 70% объема приходятся начетные годы. В годы с обильным плодоношением более 50% проверенных семян были пустые. Содержание пустых семян колебалось от 35 до 86% в трех тысячах партий, заготовленных с 1948 по 1980 гг. в Новосибирской области за 32 года. В Алтайском крае в восьми тысячах партий семян березы, заготовленных 1948-1980 годы, в лесостепи 60% пустых семян. Учитывая маленький размер семян и большое их количество, 40% полнозернистых семян березы в урожае можно считать вполне достаточным для успешного лесовозобновления [7].

В Алтайском крае березовые насаждения составляют 34.3 % (1302 тыс. га) от земель покрытых лесной растительностью. Разделение по группам возраста: молодняки первого и второго классов – 52.7х54.1 тыс. га; средневозрастные – 365.0 тыс. га; приспевающие – 246.0 тыс. га; спелые – 513.3 тыс. га и перестойные – 71.0 [8]. Березовые насаждения Новосибирской области составляют 67.1 % (3138 тыс. га), из них по группам возраста: молодняки первого и второго классов – 60.3х54.6 %; средневозрастные – 73.6 %; приспевающие – 69.1%; спелые – 61.6% и перестойные – 65.9. Средний возраст березовых насаждений в обоих субъектах составил 54 года [9]. Данный вопрос о динамике плодоношения и функциональных показателях семян березы повислой в Алтайском крае и Новосибирской области практически не освещён в литературе.

Поэтому цель наших исследований заключалась в изучении динамики плодоношения, всхожести, качества семян березы повислой и массы 1000 шт в разновозрастных насаждениях Алтайского края и Новосибирской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 1984-2010 гг. в разновозрастных насаждениях и разных лесорастительных зонах Алтайского края и Новосибирской области, всего было собрано 1792 шт. средних образца.

Сбор семян березы повислой производилось предприятиями по зонам обслуживания в субъектах. Отбор и формирование средних образцов проводили по ГОСТ 13056.1-67.

В лабораторных условиях оценивали энергию прорастания, всхожесть, массу 1000 шт. семян и класс качества. Пробы по 100 семян проращивали на аппаратах для проращивания в лаборатории отдела «Алтайская лесосеменная станция» при температуре + 20-30 ºС в трехкратной повторности. При проращивании семян на аппарате в качестве ложа используют подкладки с фитилями из фильтровальной бумаги. Кружки фильтровальной бумаги при этом раскладывают непосредственно на поверхность аппарата со следующим количеством слоев 3-4 для семян со сроком проращивания более 10 дней. В качестве фитилей применяют полоски фильтровальной бумаги в 2 слоя. За начало проращивания считали день, следующий за днем

раскладки семян. Для определения класса качества учитывали показатели энергии на седьмой день проращивания и всхожести на пятнадцатый день [5]. Посевные качества определяли по ГОСТ 13857-95. Массу 1000 шт. семян определяли по ГОСТ 13056.4-67. Математическую обработку материала провели на ПК с использованием стандартных методов математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что качественные показатели семян значительно варьировали в зависимости от предприятия и лесорастительных условий (табл.1;2).

Таблица 1. Качественные показатели семян березы повислой по предприятиям 1984-2010 гг.

Наименование предприятия	Энергия, %	Всхожесть, %	Класс качества	Масса 1000 шт., гр
	X±m	X±m	X±m	X±m
Новосибирская область				
Бердский	31.2±1.7	32.4±1.7	2.0±0.1	0.2±0.00
Венгеровский	19.6±3.7	21.3±4.1	1.3±0.3	0.2±0.01
Доволенский	22.2±2.9	24.1±3.2	1.9±0.3	0.2±0.01
Здвинский	25.8±2.5	28.6±2.6	1.9±0.2	0.2±0.00
Карасукский	24.1±1.3	27.5±1.3	1.8±0.1	0.2±0.00
Колыванский	30.8±6.8	33.6±7.8	2.4±0.4	0.2±0.02
Краснозерский	32.1±1.2	34.9±1.3	1.9±0.1	0.2±0.00
Куйбышевский	37.1±6.3	38.3±6.4	1.7±0.4	0.2±0.01
Купинский	25.1±2.3	28.0±2.4	1.8±0.2	0.2±0.00
Новосибирский	25.1±3.2	27.2±3.0	2.3±0.3	0.2±0.00
Сузунский	36.2±5.6	40.0±4.6	2.0±0.3	0.2±0.01
Татарский	21.9±2.2	23.8±2.3	1.4±0.2	0.2±0.01
Тогучинский	28.7±4.4	30.5±4.5	1.9±0.3	0.2±0.01
Черепановский	30.3±9.8	32.0±9.6	1.8±0.8	0.2±0.02
Чулымский	33.2±2.6	37.4±2.9	2.1±0.2	0.2±0.00
Алтайский край				
Аламбайский	29.2±2.1	31.4±2.2	2.0±0.2	0.2±0.00
Баевский	32.7±3.0	35.1±3.0	1.7±0.2	0.2±0.00
Барнаульский	30.1±3.0	31.8±3.0	1.8±0.2	0.2±0.00
Бийский	36.6±4.6	37.4±4.5	1.9±0.3	0.2±0.01
Благовещенский	27.3±1.5	28.9±1.5	2.2±0.1	0.2±0.00
Бобровский	23.0±3.1	25.1±3.3	1.3±0.2	0.2±0.00
Большереченский	21.7±5.2	22.4±5.6	1.4±0.5	0.2±0.00
Боровлянский	14.6±2.3	15.7±2.4	1.1±0.2	0.2±0.00
Верх-Обской	13.0±5.9	13.3±6.2	1.0±1.0	0.2±0.02
Волчихинский	31.5±4.2	31.8±4.3	2.2±0.3	0.2±0.01
Горно-Колыванский	38.8±2.4	42.5±1.9	2.0±0.0	0.2±0.02
Залесовский	31.3±2.6	32.7±2.6	2.0±0.2	0.2±0.00
Знаменский	29.2±1.3	31.0±1.3	2.1±0.1	0.2±0.00
Каменский	27.8±2.8	29.0±2.8	1.7±0.2	0.2±0.00
Ключевской	27.0±1.4	28.6±1.4	2.4±0.1	0.2±0.00
Кулундинский	37.6±3.2	39.3±3.0	2.4±0.2	0.2±0.00
Ларичихинский	26.5±4.7	30.0±6.8	2.8±0.3	0.2±0.02

Лебяжинский	35.8±2.8	39.3±3.0	1.8±0.2	0.2±0.00
Мамонтовский	34.9±1.5	36.4±1.5	2.0±0.1	0.2±0.00
Новичихинский	40.3±6.4	40.7±6.2	2.3±0.3	0.2±0.00
Озерский	26.1±3.4	29.0±3.6	1.8±0.3	0.2±0.00
Павловский	29.5±2.7	31.0±2.8	1.3±0.2	0.2±0.00
Панкрушихинский	25.5±3.6	25.9±3.6	1.7±0.3	0.2±0.01
Петровский	23.3±3.7	25.9±4.2	1.6±0.3	0.2±0.01
Ракитовский	44.3±4.3	48.6±4.0	1.7±0.2	0.2±0.00
Ребрихинский	31.7±2.8	32.4±2.8	1.7±0.2	0.2±0.00
Степно-Михайловский	26.0±11.7	29.0±11.2	1.7±0.9	0.2±0.02
Тогульский	21.6±3.1	24.5±3.2	1.5±0.2	0.2±0.01
Тягунский	17.3±2.6	18.6±2.7	0.9±0.2	0.2±0.00
Фрунзенский	21.6±4.2	24.7±4.2	1.2±0.3	0.2±0.01
Шипуновский	33.0±1.5	34.7±1.5	1.9±0.1	0.2±0.00

Максимальная всхожесть и энергия прорастания по Алтайскому краю в Ракитовском лесничестве 44.3х48.6 % (ленточно-боровой) и Новосибирской области в Сузунском лесничестве 36.2х40.0% (приобский). Минимальные показатели в Алтайском крае Верх-Обское 13.0х13.3% (приобский) и Новосибирской области Венгеровское 19,6х21,3% (лесостепное).

Таблица 2. Показатели семян березы повислой по лесорастительным зонам 1984-2010 гг.

Лесорастительные зоны	Энергия, %		Всхожесть, %			Класс качества			Масса 1000 шт., гр		
	X± m	CV., %	X± m	MIN	MAX	CV., %	X± m	CV., %	X± m	MIN	MAX	CV., %
Новосибирская область												
Степная	28.8 ±0.8	54.5	32.2 ±0.9	1	78	52.8	1.9 ±0.1	60.0	0.2 ± 0.00	0.1	0.3	14.4
Лесостепная	24.5 ±1.3	68.0	26.8 ±1.3	1	73	65.5	1.6 ±0.1	76.6	0.2 ± 0.00	0.1	0.3	17.7
Приобская	30.5 ±1.4	45.3	32.0 ±1.4	3	58	43.0	2.0 ±0.1	51.0	0.2 ± 0.00	0.1	0.2	11.9
Салаирская низкогорная	28.7 ±4.4	65.6	30.5 ±4.5	3	73	61.9	1.9 ±0.3	64.7	0.2 ± 0.01	0.1	0.2	12.3
Среднее	***28.1 ±0.7***	***56.9***	***30.3 ±0.7***	***1***	***78***	***54.8***	***1.8 ±0.1***	***62.8***	***0.2 ± 0.00***	***0.1***	***0.3***	***15.3***

Алтайский край												
Ленточно-боровая	31.1 ±0.6	53.6	32.8 ±0.6	1	83	51.7	1.9 ±0.1	55.2	0.2 ± 0.00	0.1	0.3	14.4
Приобская	24.2 ±1.3	73.2	25.9 ±1.4	1	73	70.8	1.5 ±0.1	83.5	0.2 ± 0.00	0.1	0.2	15.8
Салаирская низкогорная	25.0 ±1.3	68.0	27.0 ±1.4	1	65	65.1	1.6 ±0.1	78.2	0.2 ± 0.00	0.1	0.3	17.9
Предгорная	24.1 ±3.6	72.1	27.3 ±3.6	2	56	65.3	1.3 ±0.2	87.5	0.2 ± 0.01	0.1	0.2	19.5
Среднее	***29.1 ±0.5***	***59.0***	***30.8 ±0.5***	***1***	***83***	***56.8***	***1.8 ±0.1***	***62.5***	***0.2 ± 0.00***	***0.1***	***0.3***	***15.6***

По лесорастительным условиям средние максимальные показатели энергии и всхожести по Алтайскому краю в ленточно-боровой зоне 31.1х32.8 % ,а в Новосибирской области энергия в приобской зоне 30.5% и всхожесть в степной зоне 32.2 %. Лучшие показатели по классу качества в Алтайском крае предгорная зона 1.3 и Новосибирской области лесостепная зона 1.6. Средние показатели по регионам малоразличимы.

Таблица 3. Объем заготовки семян березы повислой в 1986-2022 гг.

Год урожая	Всего заготовлено кг.	
	Алтайский край	Новосибирская область
1986	5093	3551
1987	6780	3635
1988	3808	3335
1989	4064	2430
1990	745	1211
1991	5599	1062
1992	2002	321
1993	1311	16
1994	1414	985
1995	777	542
1996	0	106
1997	389	528
1999	758	424
2000	235	51
2001	2245	255
2002	1100	0
2003	500	0
2004	197	138

2005	87	0
2006	77	30
2007	10	60
2009	59	0
2010	22	0
2011	403	30
2016	70	0
2020	259	0
2021	209	0
2022	495	0

В таблице 3 приведены объемы заготовки предприятиями семян березы повислой по двум субъектам. Большое количество семян заготавливалось в разные годы, с доведением плана по посеву семян березы в насаждениях, где предусматривалось по плану естественное заращивание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лучшие показатели всхожести и энергии прорастания в Алтайском крае 44.3х48.6 % (ленточно-боровой) и Новосибирской области 36.2х40.0% (приобский).

Показатели по классу качества в Алтайском крае предгорная зона 1.3 и Новосибирской области лесостепная зона 1.6.

Полученные данные могут быть использованы лесохозяйственными предприятиями для планирования мероприятий по сбору и посевам семян березы повислой для получения посадочного материала. Полное созревание и начало опадения семян березы в Западной Сибири начинается, в первой декаде июля сбор семян рекомендуем проводить с середины июля.

Список литературы

1. Бажина Е.В., Скрипальщикова Л.Н., Барченков А.П. Особенности плодоношения березы повислой в Красноярской лесостепи // Сибирский лесной журнал. 2018. № 6. С. 112-120. [Bazhina E. V., Skripal’shchikova L. N., Barchenkov A. P. Fruiting specifis of drooping birch in the Krasnoyarsk forest-steppe // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2018. N 6. S. 112–120 (in Russian with English abstract).].
2. ГОСТ 13056.1 - 67. Семена деревьев и кустарников. Отбор образцов. Взамен ГОСТ 2937-55 в части разд. I, II и III; Введ. 1968.07.01. Проверен в 1985 г. Постановлением Госстандарта от 08.07.85 N 2158 срок действия продлен до 01.01.1991. Москва: Изд-во стандартов, 1988. 40 с.
3. ГОСТ 13056.4-67. Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян. Взамен ГОСТ 2937-55 в части разд.VII; Введ. 1968.07.01. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 13 июля 1967 г. Ограничение срока действия снято по протоколу N 5-94 Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ИУС N 11/12, 1994 год). Москва: Изд-во стандартов, 1987. 3 с.
4. ГОСТ 13857-95. Семена деревьев и кустарников. Посевные качества. Технические условия. Взамен ГОСТ 13857— 68; Введен 1996.06.01. Минск: Изд-во стандартов 1996. 13 с.
5. ГОСТ 13056.6-97 Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. Взамен ГОСТ 13056.6 – 75; Введен 1998.07.01. Минск: Изд-во стандартов 1998. 28 с.

6. Грант В. Эволюционный процесс. М.: Мир, 1991. 488 с.
7. Каледа В. М. Биология плодоношения березы повислой (Betula pendula Roth.) в лесостепных районах Западной Сибири: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Институт леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1985. 20 с.
8. Лесной план Алтайского края (в редакции от 05.11.2020 №191) https://minprirody.alregn.ru/files/incoming/files/Лесное%20хозяйство/-76-_ug_-30_05_2022.pdf
9. Лесной план Новосибирской области (с изменениями от 19.09.2022 N169) https://docs.cntd.ru/document/465727230
10. Лучник З.И. Интродукция деревьев и кустарников в Алтайском крае. М., 1970. 656 с.
11. Шемберг М. А. Березы Сибири и Дальнего Восток (систематика, изменчивость, естественная гибридизация, интродукция): автореф. дис. … д-ра биол. наук: 03.00.05. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 1993. 33 с.

References

1. Bazhina, E. V., Skripal'shchikova, L. N., & Barchenkov, A. P. (2018). Fruiting specifics of drooping birch in the Krasnoyarsk forest-steppe. Siberian Forest Journal, (6), 112–120.
2. GOST 13056.1-67. (1988). Seeds of trees and shrubs. Sampling methods. Publishing House of Standards. (Original work published 1967)
3. GOST 13056.4-67. (1987). Seeds of trees and shrubs. Methods for determining the weight of 1000 seeds. Publishing House of Standards. (Original work published 1967)
4. GOST 13857-95. (1996). Seeds of trees and shrubs. Sowing qualities. Specifications. Publishing House of Standards.
5. GOST 13056.6-97. (1998). Seeds of trees and shrubs. Methods for determining germination. Publishing House of Standards.
6. Grant, V. (1991). The evolutionary process. Mir.
7. Kaleda, V. M. (1985). Biology of fruiting of Betula pendula Roth. in the forest-steppe regions of Western Siberia [Abstract of candidate of agricultural sciences dissertation, V. N. Sukachev Institute of Forest and Wood, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences].
8. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Altai Region. (2020, November 5). Forest plan of the Altai Region (Edition No. 191). https://minprirody.alregn.ru/files/incoming/files/Лесное%20хозяйство/-76-_ug_-30_05_2022.pdf
9. Department of Natural Resources and Environment of the Novosibirsk Region. (2022, September 19). Forest plan of the Novosibirsk Region (Edition No. 169). https://docs.cntd.ru/document/465727230
10. Luchnik, Z. I. (1970). Introduction of trees and shrubs in the Altai Region. Moscow.
11. Shemberg, M. A. (1993). Birches of Siberia and the Far East (systematics, variability, natural hybridization, introduction) [Abstract of doctor of biological sciences dissertation, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences].

DOI: 10.58168/Forestry2025_28-34
УДК 504.15:712.25

ЭКОСИСТЕМНЫЕ И РЕКРЕАЦИОННЫЕ УСЛУГИ ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЙ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ[3]

М.Г.Варгузина, Н.В. Яковенко, Е.А. Старухина

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация

Статья посвящена комплексному анализу теоретических подходов к изучению экосистемных и рекреационных услуг зеленых насаждений. В условиях усиливающейся урбанизации и климатических изменений данная тема приобретает критическую важность для обеспечения устойчивого развития территорий. На основе систематического обзора и сравнительного анализа авторы выделяют и детально рассматривают пять ключевых подходов: экосистемный, экономический, социально-культурный, ландшафтный и подход, основанный на принципах устойчивого развития. Для каждого подхода раскрывается его концептуальная сущность, базовые принципы и применяемый методический аппарат. Исследование демонстрирует, что ни один из подходов в отдельности не способен обеспечить всестороннюю оценку ценности зеленых насаждений, и подчеркивает необходимость их интеграции для принятия обоснованных управленческих решений в области градостроительной и экологической политики.

Ключевые слова: экосистемные услуги, рекреационные услуги, зеленые насаждения, устойчивое развитие, экосистемный подход, экономическая оценка, социально-культурный подход, ландшафтное планирование, городская среда.

ECOSYSTEM AND RECREATIONAL SERVICES OF GREEN INFRASTRUCTURE: COMPREHENSIVE ANALYSIS OF METHODOLOGICAL APPROACHES AND INTEGRATION PERSPECTIVES

M.G. Varguzina, N.V. Yakovenko, E.A. Starukhina

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract

The article provides a comprehensive analysis of theoretical approaches to studying ecosystem and recreational services of green infrastructure. In the context of increasing urbanization and climate change, this topic becomes critically important for ensuring sustainable development of territories. Based on systematic review and comparative analysis, the authors identify and examine in detail five key approaches: ecosystem, economic, socio-cultural, landscape, and the approach based on sustainable development principles. For each approach, its conceptual essence, basic principles, and applied methodological framework are revealed. The study demonstrates that none of the approaches individually can provide a comprehensive assessment of the value of green infrastructure and emphasizes the need for their integration to support informed decision-making in urban planning and environmental policy.

© Варгузина М. Г., Яковенко Н. В., Старухина Е. А., 2025

Keywords: ecosystem services, recreational services, green infrastructure, sustainable development, ecosystem approach, economic valuation, socio-cultural approach, landscape planning, urban environment.

Введение.

Городские зеленые насаждения представляют собой важнейший компонент урбоэкосистем, выполняющий многогранную роль в поддержании экологического баланса и обеспечении рекреационных потребностей населения. В условиях прогрессирующей урбанизации и нарастающих климатических изменений значение экосистемных и рекреационных услуг данной природной инфраструктуры приобретает особую актуальность. Научный интерес к комплексному изучению этих услуг обусловлен их значительным вкладом в улучшение качества городской среды, включая регулирование микроклимата, фильтрацию воздушных масс, сохранение биоразнообразия, а также создание условий для физического и психического восстановления жителей. В контексте глобальных экологических вызовов, системное исследование и оценка предоставляемых зелеными насаждениями услуг становятся императивом для разработки научно обоснованных стратегий устойчивого развития городских территорий.

Методы исследования.

Методологическую основу исследования составили методы систематического обзора и сравнительного анализа. Систематический обзор позволил выявить, оценить и синтезировать релевантные научные разработки по каждому из рассматриваемых подходов. Сравнительный анализ был применен для сопоставления теоретических парадигм с выделением их методологических преимуществ, ограничений и потенциальных областей практического применения.

Результаты исследования и их обсуждение.

Проведенное исследование позволило идентифицировать и охарактеризовать комплекс взаимодополняющих теоретических подходов к изучению экосистемных и рекреационных услуг зеленых насаждений. Выявленные подходы образуют целостную методологическую систему, обеспечивающую многомерную оценку их значимости для окружающей среды и общества. Визуальное представление основных направлений исследования приведено на рисунке 1.

Рисунок 1 - Основные направления изучения экосистемных и рекреационных услуг зеленых насаждений

Как следует из представленных данных, экосистемный подход предполагает рассмотрение зеленых насаждений не в качестве изолированных объектов, а как интегрированный компонент сложной и динамической экосистемы. В рамках этого подхода анализируется их тесное взаимодействие с абиотическими (почва, водные ресурсы,

атмосферный воздух) и биотическими (животные, микроорганизмы, растения) факторами, что в совокупности формирует широкий спектр продуцируемых экосистемных услуг [1]. Ключевая сущность данного подхода заключается в познании и регулировании этих взаимосвязей для обеспечения долгосрочной устойчивости и сбалансированного функционирования экосистемы в целом.

Основополагающим принципом экосистемного подхода выступает принцип целостности, который требует комплексной оценки прямых и опосредованных взаимосвязей между всеми компонентами экосистемы [2]. Его практическая реализация подразумевает обязательный учет каскадных эффектов, когда изменение состояния одного элемента системы провоцирует последующие изменения в других ее компонентах.

Другой ключевой аспект — функциональность — фокусируется на исследовании и количественной оценке разнообразных функций, выполняемых зелеными насаждениями. Согласно исследованиям, в частности В.В. Кирея, данный спектр функций не ограничивается такими фундаментальными процессами, как фильтрация водных потоков, секвестрация атмосферного углерода и обеспечение условий для опыления растений, а включает и множество других средообразующих и стабилизирующих услуг.

Принцип устойчивости ориентирован на анализ способности экосистемы при сохранении своей структуры не только адаптироваться к изменениям, но и функции и способность к самовосстановлению [4]. При проведении данного анализа оценивается устойчивость к различным стрессовым факторам, таким как изменения климата, урбанизация и загрязнение окружающей среды.

Для реализации экосистемного подхода применяется комплекс взаимодополняющих методов исследования. Моделирование экосистемных процессов позволяет разрабатывать прогнозные сценарии изменений в системе под влиянием природных и антропогенных факторов. Анализ потоков вещества и энергии дает возможность количественно оценить циркуляцию питательных элементов, водных ресурсов и энергетические превращения между различными компонентами экосистемы [5]. Оценка биологического разнообразия направлена на изучение видового состава и структурной организации сообществ живых организмов. Исследование почвенных характеристик предполагает комплексный анализ физико-химических и биологических параметров почвы, определяющих функциональное состояние экосистемы.

Экономический подход к оценке экосистемных и рекреационных услуг предполагает их денежную оценку, что позволяет перевести разнородные benefits в сопоставимую метрику для интеграции в системы территориального планирования и принятия управленческих решений. В рамках данного подхода используются следующие методические инструменты:

Метод выявленных предпочтений основывается на анализе реального экономического поведения субъектов. Изучение цены на недвижимость вблизи зеленых зон и структуры затрат на рекреационную активность позволяет получить косвенную оценку ценности экосистемных услуг [6].

Метод условной оценки базируется на данных социологических опросов, выявляющих готовность населения к платежам за сохранение или улучшение качества экосистемных услуг, что отражает их субъективно воспринимаемую ценность [7].

Метод замещения предполагает калькуляцию затрат на создание искусственных аналогов экосистемных функций. Например, оценка стоимости строительства очистных сооружений, компенсирующих природную фильтрационную способность лесных экосистем [8].

Анализ затрат и выгод предусматривает сопоставление инвестиций в создание и поддержание зеленых насаждений с совокупным социально-экономическим эффектом, включая улучшение качества воздуха, снижение заболеваемости и повышение рекреационной привлекательности территорий [9].

Социально-культурный подход акцентирует внимание на многомерном значении зеленых насаждений для физического и психического благополучия населения, формирования культурной идентичности и социального капитала.

Рекреационный потенциал реализуется через предоставление пространств для различных форм досуга - от активных занятий спортом на оборудованных площадках до пассивного отдыха, предполагающего созерцание природных ландшафтов.

Эстетическая ценность ландшафтов представляет собой сложный интегральный показатель, определяемый как объективными параметрами среды (пространственная структура, колористика, биоразнообразие), так и субъективным восприятием, обусловленным культурным бэкграундом и индивидуальным опытом. Для ее оценки применяется комбинация методов - от социологических опросов до ландшафтного анализа с использованием специализированного программного обеспечения, что позволяет получать верифицируемые данные для обоснования градостроительных решений.

Пространственное расположение и функциональное наполнение зеленых зон напрямую влияют на интенсивность социального взаимодействия. Удобные пешеходные дорожки, скамейки, детские площадки и спортивные сооружения стимулируют посещение парков людьми разных возрастных групп и социальных слоев. Ряд авторов в своей работе подчеркивают важность создания «приглашающих» пространств, которые способствуют не только функциональному использованию территории, но и спонтанным встречам и общению между людьми [10]. Наличие разнообразных элементов благоустройства, таких как площадки для барбекю, амфитеатры для проведения мероприятий и общественные сады, расширяет возможности для совместной деятельности и усиливает эффект социального сплочения.

Зеленые насаждения, обладая долговечностью и способностью к трансформации во времени, выступают в роли живых архивов, документирующих эволюцию культурного ландшафта. Исторические парки, создаваемые на протяжении столетий, отражают эстетические идеалы, социальные структуры и технологические достижения прошлых эпох. Регулярные сады эпохи барокко, пейзажные парки романтизма, авангардные сады начала XX века – каждый из них представляет собой материальное воплощение определенной культурной парадигмы [11]. Анализ планировочной структуры, видового состава растений и элементов садово-парковой архитектуры позволяет реконструировать исторический контекст и понять ценностные ориентиры создателей этих объектов.

Мемориальные комплексы, в которых зеленые насаждения играют важную роль, служат для увековечивания памяти о значимых исторических событиях и личностях. Аллеи славы, мемориальные сады, братские захоронения – все эти объекты, оформленные с использованием растений, приобретают особое эмоциональное воздействие.

При социально-культурном подходе используются следующие методы оценки: массовые опросы, глубинные интервью с экспертами и представителями целевых групп, проведение фокус-групп для выявления ценностных ориентаций и рекреационных предпочтений, анализ фото- и видеоматериалов, отражающих использование зеленых насаждений населением, картографирование рекреационных нагрузок и выявление наиболее востребованных территорий.

Важным аспектом ландшафтного подхода является учет исторического контекста.

Реконструкция исторической динамики ландшафта предполагает комплексный анализ картографических материалов различных временных периодов, архивных источников и данных археологических изысканий. Такой междисциплинарный подход позволяет реконструировать историческую структуру растительного покрова, выявить особенности антропогенного воздействия и определить ключевые факторы формирования современного состояния ландшафта. Полученные данные служат научной основой для разработки стратегий ландшафтного озеленения, направленных на реставрацию утраченных элементов и сохранение уникальных характеристик территории.

Современный инструментарий ландшафтного планирования включает передовые методы и технологии. Ландшафтное картографирование с применением ГИС-технологий

обеспечивает создание детальных пространственных моделей, отражающих структурно-функциональную организацию территории. Мониторинг состояния растительности осуществляется с использованием данных дистанционного зондирования Земли, получаемых с помощью спутниковых систем и беспилотных летательных аппаратов [12]. Перспективным направлением является компьютерное моделирование ландшафтных процессов, позволяющее осуществлять прогнозную оценку эффективности различных сценариев озеленения и оптимизировать принимаемые решения.

Подход, основанный на устойчивом развитии, предполагает комплексную интеграцию экологических, экономических и социальных аспектов при управлении зелеными насаждениями. Это требует перехода от традиционных методов, ориентированных преимущественно на эстетические или экономические выгоды, к более целостному подходу, учитывающему долгосрочную устойчивость экосистем и их способность предоставлять широкий спектр услуг.

Важным элементом данного подхода является применение методов интегрированной оценки экосистемных услуг (ESV). Данный метод позволяет количественно оценить вклад экосистемных и рекреационных услуг зеленых насаждений в поддержание качества воздуха, регулирование стока воды, снижение эффекта «теплового острова», предоставление мест отдыха и другие блага. Различные методики, такие как метод условной оценки и метод выявленных предпочтений, используются для определения экономической ценности этих услуг [13], при этом, полученные данные являются основой для принятия обоснованных решений при планировании и управлении зелеными насаждениями.

Одним из ключевых аспектов устойчивого подхода является активное участие общественности в процессе принятия решений. Это обеспечивает учет различных интересов и потребностей, а также способствует повышению осведомленности и ответственности граждан за состояние окружающей среды. Формы участия могут включать общественные слушания, консультации, создание рабочих групп и образовательные программы. Участие общественности способствует формированию консенсуса и обеспечению поддержки принимаемых решений.

Заключение

Анализ различных подходов к изучению зеленых насаждений показывает их многогранную ценность. Экосистемный подход раскрывает их как сложные живые системы, экономический - позволяет оценить реальную стоимость их услуг, а социально-культурный - понять их значение для качества жизни людей.

Наиболее эффективным представляется интегральный подход, сочетающий экологические, экономические и социальные аспекты. Такой взгляд позволяет рассматривать зеленые территории не как отдельные объекты, а как важнейший компонент городской среды, требующий комплексного управления и стратегического планирования.

Перспективным направлением развития представляется создание междисциплинарных методик оценки, способных учесть всю совокупность ценности зеленых насаждений - от их роли в поддержании биоразнообразия до вклада в психологическое благополучие горожан. Это особенно актуально в условиях растущей урбанизации и климатических изменений, когда значение зеленой инфраструктуры будет только возрастать.

Список литературы

1. Прокопчина, С. В. Экосистемные измерения и экосистемное моделирование в условиях неопределенности / С. В. Прокопчина // Мягкие измерения и вычисления. – 2025. – Т. 86, № 1. – С. 5-21. – DOI 10.36871/2618-9976.2025.01.001.
2. Ли, М. Ю. Оценка экосистемных услуг городов / М. Ю. Ли // Мировая экологическая повестка и Россия: материалы Всерос. науч. онлайн-конф. с междунар. участием, Москва, 16–18 нояб. 2020 г. – Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2020. – С. 230-234.
3. Кирей, В. В. Факторы спроса и предложения экосистемных услуг, предоставляемых городскими лесами / В. В. Кирей // Особенности природопользования, состояние

биоразнообразия и современные принципы устойчивого развития природных и природно-антропогенных комплексов: монография / под общ. ред. М. В. Ларионова, А. А. Володькина. – Пенза: Пензенский ГАУ, 2023. – С. 79-99.
4. Касимов, Д. В. Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования / Д. В. Касимов. – Москва: Мир науки, 2015. – 91 с.
5. Brown, G. Using participatory GIS to measure physical activity and urban park benefits / G. Brown, M. F. Schebella, D. Weber // Landscape and Urban Planning. – 2014. – Vol. 121. – P. 34-44.
6. Эколого-экономические исследования: теория и практика / А. К. Тулохонов, А. С. Михеева, Т. Б. Бардаханова [и др.]. – Улан-Удэ: Бурятская ГСХА, 2024. – 298 с.
7. Бондаренко, И. С. Роль зеленой инфраструктуры в обеспечении рекреационных потребностей жителей г. Калининграда / И. С. Бондаренко, А. А. Пакина // Труды НОЦ - Ботанический сад МГУ: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Москва, 12–13 февр. 2024 г. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2024. – С. 27-33. – DOI 10.55959/MSU012129-2-2024-8-27-33.
8. Старухина, Е. А. Спрос и предложение экосистемных услуг городских лесов / Е. А. Старухина // Адаптация лесного хозяйства к изменению климата: природоориентированные решения и цифровизация. Forestry 2024: материалы Междунар. лесного форума, Воронеж, 31 окт. – 01 нояб. 2024 г. – Воронеж: ВГЛТУ, 2024. – С. 184-188. – DOI 10.58168/FFYS2024_184-188.
9. Зуев, К. А. Влияние близости и размера зеленых насаждений на стоимость недвижимости в Москве / К. А. Зуев, О. В. Кудрявцева // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. – 2024. – Т. 16, № 3(53). – С. 59-76. – DOI 10.38050/2078-3809-2024-16-3-59-76.
10. Семенюк, О. В. Стоимостная оценка экосистемных услуг урболандшафтов / О. В. Семенюк, Г. В. Стома, К. С. Бодров // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Иркутск, 23–29 авг. 2021 г. – Иркутск: ИГУ, 2021. – С. 514-518.
11. Перелет, Р. А. О некоторых актуальных аспектах оценки экосистемных товаров и услуг в России / Р. А. Перелет // TEEB процессы и экосистемные оценки в Германии, России и в некоторых других странах Северной Европы. – Бонн: Федеральное ведомство по охране природы, 2014. – С. 83-93.
12. Гудкова, Т. В. Цифровые экосистемные модели в бизнесе: вызовы теории и практика управления / Т. В. Гудкова, Г. Ю. Кузнецов // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2022. – Т. 13, № 3. – С. 476-493. – DOI 10.18184/2079-4665.2022.13.3.476-493.
13. Kaczmarek, S. Soil microarthropods - biodiversity, ecosystem services and impact on human economy and health / S. Kaczmarek, T. Marquardt // Bulletin WKU. – 2021. – No. 4(84). – P. 234-242. – DOI 10.37238/1680-0761.2021.84(4).52.

References

1. Prokopchina, S. V. (2025). Ekosistemnye izmereniya i ekosistemnoe modelirovanie v usloviyakh neopredelennosti [Ecosystem measurements and ecosystem modeling under uncertainty]. Myagkiye izmereniya i vychisleniya, 86(1), 5-21. https://doi.org/10.36871/2618-9976.2025.01.001
2. Li, M. Yu. (2020). Otsenka ekosistemnykh uslug gorodov [Assessment of urban ecosystem services]. In Mirovaya ekologicheskaya povestka i Rossiya: materialy Vserossiyskoy nauchnoy onlayn-konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (pp. 230-234). MGU im. M. V. Lomonosova.
3. Kirey, V. V. (2023). Faktory sprosa i predlozheniya ekosistemnykh uslug, predostavlyaemykh gorodskimi lesami [Factors of demand and supply of ecosystem services provided by urban forests]. In M. V. Larionov & A. A. Volodkin (Eds.), Osobennosti prirodopol'zovaniya,

sostoyanie bioraznoobraziya i sovremennye printsipy ustoychivogo razvitiya prirodnykh i prirodno-antropogennykh kompleksov (pp. 79-99). Penzenskiy GAU.
4. Kasimov, D. V. (2015). Nekotorye podkhody k otsenke ekosistemnykh funktsiy (uslug) lesnykh nasazhdeniy v praktike prirodopol'zovaniya [Some approaches to assessing ecosystem functions (services) of forest plantations in environmental management practice]. Mir Nauki.
5. Brown, G., Schebella, M. F., & Weber, D. (2014). Using participatory GIS to measure physical activity and urban park benefits. Landscape and Urban Planning, 121, 34-44.
6. Tulokhonov, A. K., Mikheeva, A. S., Bardakhanova, T. B., [i dr.]. (2024). Ekologo-ekonomicheskiye issledovaniya: teoriya i praktika [Environmental-economic research: theory and practice]. Buriatskaya GSKhA.
7. Bondarenko, I. S., & Pakina, A. A. (2024). Rol' zelenoy infrastruktury v obespechenii rekreatsionnykh potrebnostey zhiteley g. Kaliningrada [The role of green infrastructure in providing recreational needs of Kaliningrad residents]. In Trudy NOTs - Botanicheskiy sad MGU: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (pp. 27-33). https://doi.org/10.55959/MSU012129-2-2024-8-27-33
8. Starukhina, E. A. (2024). Spros i predlozheniye ekosistemnykh uslug gorodskikh lesov [Demand and supply of urban forest ecosystem services]. In Adaptatsiya lesnogo khozyaystva k izmeneniyu klimata: prirodooriyentirovannyye resheniya i tsifrovizatsiya. Forestry 2024: materialy Mezhdunarodnogo lesnogo foruma (pp. 184-188). https://doi.org/10.58168/FFYS2024_184-188
9. Zuev, K. A., & Kudryavtseva, O. V. (2024). Vliyaniye blizosti i razmera zelenykh nasazhdeniy na stoimost' nedvizhimosti v Moskve [The impact of proximity and size of green spaces on property value in Moscow]. Nauchnyye issledovaniya ekonomicheskogo fakul'teta. Elektronnyy zhurnal, 16(3), 59-76. https://doi.org/10.38050/2078-3809-2024-16-3-59-76
10. Semenyuk, O. V., Stoma, G. V., & Bodrov, K. S. (2021). Stoimostnaya otsenka ekosistemnykh uslug urbolandshaftov [Cost assessment of ecosystem services of urban landscapes]. In Pochva kak svyazuyushcheye zveno funktsionirovaniya prirodnykh i antropogenno-preobrazovannykh ekosistem: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (pp. 514-518). IGU.
11. Perelet, R. A. (2014). O nekotorykh aktual'nykh aspektakh otsenki ekosistemnykh tovarov i uslug v Rossii [On some relevant aspects of assessing ecosystem goods and services in Russia]. In TEEB protsessy i ekosistemnye otsenki v Germanii, Rossii i v nekotorykh drugikh stranakh Severnoy Evropy (pp. 83-93). Federal'noye vedomstvo po okhrane prirody.
12. Gudkova, T. V., & Kuznetsov, G. Yu. (2022). Tsifrovye ekosistemnye modeli v biznese: vyzovy teorii i praktika upravleniya [Digital ecosystem models in business: challenges of theory and management practice]. MIR (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie), 13(3), 476-493. https://doi.org/10.18184/2079-4665.2022.13.3.476-493
13. Kaczmarek, S., & Marquardt, T. (2021). Soil microarthropods - biodiversity, ecosystem services and impact on human economy and health. Bulletin WKU, 4(84), 234-242. https://doi.org/10.37238/1680-0761.2021.84(4).52.

DOI: 10.58168/Forestry2025_35-41
УДК 712.2: 502.171

НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ОЗЕЛЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МЕГАПОЛИСЕ: САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫЕ ЗОНЫ И ОБЪЕКТЫ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА

О.В. Волошина
аспирант
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация.
В настоящей работе представлены научно-обоснованные подходы к созданию адаптивных систем озеленения в условиях мегаполиса, сфокусированные на рекультивации нарушенных земель. Особое внимание уделяется городу Донецку как промышленному центру с выраженными экологическими проблемами, включая последствия техногенной деятельности. В статье анализируются нормативно-правовые аспекты формирования зеленых систем в контексте российского законодательства. Предлагается комплексный подход, сочетающий фиторемедиацию и использование адаптированных видов растений для восстановления санитарно-защитных зон и объектов накопленного экологического ущерба.
Ключевые слова: адаптивное озеленение, Донецк, санитарно-защитные зоны, рекультивация, объекты накопленного экологического ущерба, фиторемедиация, терриконы.

SCIENTIFIC ASPECTS OF CREATING ADAPTIVE GREENING SYSTEMS IN A MODERN MEGALOPOLIS: SANITARY PROTECTION ZONES AND OBJECTS OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE

O. V. Voloshina

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract: This paper presents scientifically grounded approaches to creating adaptive greening systems in a megalopolis, focusing on the reclamation of disturbed lands. Special attention is paid to the city of Donetsk as an industrial center with significant environmental problems, including the consequences of man-made activities. The article analyzes the regulatory and legal aspects of forming green systems within the context of Russian legislation. A comprehensive approach is proposed, combining phytoremediation and the use of adapted plant species to restore sanitary protection zones and sites of accumulated environmental damage.
Keywords: adaptive greening, Donetsk, sanitary protection zones, reclamation, objects of accumulated environmental damage, phytoremediation, spoil tips.

Введение

Современные мегаполисы сталкиваются с нарастающими вызовами, связанными с урбанизацией и интенсивной хозяйственной деятельностью. Промышленное производство, транспортная инфраструктура и объекты коммунального назначения оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье населения. Эта проблема особенно остра в индустриальных центрах, где исторически сложилось высокое сосредоточение производственных мощностей. В связи с этим, традиционные подходы к городскому

© Волошина О. В., 2025

озеленению, ориентированные преимущественно на эстетику и рекреацию, становятся недостаточными. Необходима разработка новых, научно обоснованных методов создания адаптивных зеленых систем, способных выполнять ключевые санитарно-экологические функции.

Целью данного исследования является разработка научно обоснованных подходов к созданию адаптивных систем озеленения в условиях современного мегаполиса, направленных на минимизацию негативного воздействия санитарно-защитных зон (СЗЗ) и рекультивацию объектов накопленного экологического ущерба (ОНЭУ). В качестве объекта исследования выбран город Донецк — один из крупнейших промышленных центров Донбасса, где проблема техногенного загрязнения и накопленного экологического ущерба стоит особенно остро. Множество промышленных предприятий, угольных шахт, шлакоотвалов и терриконов создают уникальную, сложную экосистему, которая делает его идеальным полигоном для апробации новых подходов. Основная гипотеза исследования заключается в том, что применение комплексных фитотехнологий [1], основанных на принципах зеленой инфраструктуры и подборе специализированных видов растений, способно эффективно восстанавливать нарушенные территории и повышать их санитарно-гигиенический потенциал.

Материал и методы исследования

Эволюция подходов к городскому озеленению претерпела значительные изменения, перейдя от создания отдельных, изолированных зеленых зон к интегрированной системе «зеленой инфраструктуры». Возьмём за основу адаптивного планирования экологического восстановления исследуемой территории концепцию «зеленая инфраструктура», как наиболее эффективную на территориях данного региона.

Данная концепция представляет собой не просто сумму зеленых насаждений, а единую, взаимосвязанную сеть незастроенных и незапечатанных территорий (не покрытых бетоном или асфальтом). В отличие от предшествовавших ей идей, таких как «зеленые коридоры», которые фокусировались на формировании доступной комфортной среды и связи с природой, концепция «зеленой инфраструктуры» призвана выявлять территории с утраченными экологическими и социальными функциями и интегрировать их в единую систему городского озеленения. Ключевыми принципами этой концепции являются взаимосвязанность элементов, их многофункциональность и адаптивность к меняющимся условиям городской среды. Это позволяет зеленой инфраструктуре выполнять широкий спектр задач – от улучшения качества воздуха и регулирования микроклимата до создания комфортной среды для жителей.

Санитарно-защитные зоны также будут выступать инструментом регулирования антропогенной нагрузки. Санитарно-защитная зона (СЗЗ) представляет собой обязательную буферную территорию, которая создается вокруг промышленных, транспортных, коммунальных и иных объектов, оказывающих негативное воздействие на здоровье человека. Основное назначение СЗЗ – снижение уровня химического, физического или биологического загрязнения атмосферного воздуха до значений, установленных гигиеническими нормативами. Размер и границы СЗЗ определяются на основе проекта, который включает расчеты рассеивания загрязняющих веществ и уровней физического воздействия, таких как шум и вибрация.

С 1 января 2023 года Донецкая Народная Республика перешла под юрисдикцию Российской Федерации, что повлекло за собой унификацию правовой базы в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия. В частности, основным регулирующим документом для установления СЗЗ стал СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Эта смена законодательства имеет глубокое значение для любых будущих проектов по озеленению и рекультивации, поскольку все научные и практические решения теперь должны соответствовать российским федеральным стандартам. Таким образом, любое актуальное исследование в этой области в Донецке не может игнорировать этот фундаментальный сдвиг в правовом поле.

Важно отметить юридические и технические аспекты рекультивации объектов накопленного экологического ущерба (ОНЭУ). Объекты накопленного экологического

ущерба (ОНЭУ) – это не просто физические места загрязнения, а результат вреда, причиненного окружающей среде в денежном выражении в ходе хозяйственной деятельности, в том числе в результате нарушения природоохранного законодательства [2]. Рекультивация таких территорий является юридически обязательной процедурой, ответственность за которую несут собственники земельных участков, землепользователи или лица, чьи действия привели к нарушению [1].

Процесс рекультивации регламентируется федеральными нормативными актами, такими как Постановление Правительства РФ от 10 июля 2018 г. N 800 и ГОСТ Р 59057-2020. Согласно этим документам, рекультивация должна восстановить земли до состояния, пригодного для их использования в соответствии с целевым назначением [2]. Процесс всегда включает два последовательных этапа:

- технический этап: предполагает инженерную подготовку, которая включает засыпку, выравнивание, формирование нового рельефа, а также снятие и перемещение плодородного слоя почвы;
- биологический этап: направлен на восстановление плодородия почвы и ее озеленение с целью возвращения территории в хозяйственный оборот [2].

Эта двухэтапная структура является критически важной для понимания, поскольку она обеспечивает мост между инженерными и биологическими решениями.

Далее необходимо проанализировать экологическую обстановку на территории Донецка, дать характеристику основных источников и типов техногенного загрязнения. В Донецке и его окрестностях доминирует тяжелая промышленность. Согласно экологической ситуации в данном регионе, более 95% объема вредных выбросов в атмосферу приходится на три основные отрасли: металлургическую (33,3%), угольную (31,9%) и энергетическую (30,8%). Помимо выбросов в атмосферу, крупные промышленные предприятия, такие как Донецкий металлургический завод, а также металлургические и коксохимические заводы в Макеевке и Енакиево, являются непосредственными источниками загрязнения водных ресурсов [4]. Например, ДМЗ сбрасывает сточные воды в реку Кальмиус, а шахты им. Засядько и Горького сбрасывают высоко минерализованные шахтные воды. Устаревшие технологии, применяемые на большинстве предприятий, построенных в советский период, усугубляют проблему, что делает необходимым техническое перевооружение и внедрение замкнутых систем водоснабжения [4].

Ключевыми объектами накопленного экологического ущерба в Донецке являются многочисленные терриконы (отвалы пустой породы от угольных шахт) и шлакоотвалы (отходы металлургического производства). Терриконы представляют собой сложные геохимические образования. Их состав включает значительное количество угля, а также глинозема и оксидов железа и кремния. Наличие углистых частиц в теле отвала приводит к их окислению, что вызывает повышение температуры грунта. Это, в свою очередь, является одним из главных факторов, препятствующих естественному зарастанию и восстановлению растительного покрова [5].

Проведение специальной военной операции на территории региона привело к чрезвычайной деградации экосистем, породив беспрецедентные вызовы как для экологической безопасности, так и для восстановительных работ (рекультивации). Этот новый вид экологического урона накладывается на уже существующие промышленные проблемы, что требует специализированного научного вмешательства. Наблюдается прямое и косвенное негативное воздействие, выражающееся в геохимическом загрязнении и эрозии.

Основными факторами экологического ущерба являются загрязнение почв и воды. Загрязнение плодородных почв и водных ресурсов происходит из-за детонации боеприпасов и перемещения техники, применяемой в условиях специальной военной операции. Осколки содержат тяжелые металлы (например, свинец и медь), которые постепенно распадаются и попадают в почвенный слой. Разрушение почвенного покрова ускоряет ветровую эрозию и вымывание токсичных веществ. Более того, повреждение критической инфраструктуры,

включая дамбы и очистные сооружения, приводит к сбросу неочищенных стоков и промышленных отходов прямо в реки и водоемы.

Также существуют риски, связанные с большим количеством шахт, которые размещаются в самом Донецке и на всей территории ДНР Ключевой экологический фактор связан с затоплением законсервированных угольных шахт. На Донбассе расположено 176 потенциально опасных объектов, включая шахты. Остановка дорогостоящей откачки воды из шахт ведет к повышению ее уровня. Это вызывает вынос на поверхность кислых минералов, тяжелых металлов, урана и других загрязнителей. Эти вещества проникают в грунтовые воды и источники питьевой воды, создавая угрозу необратимого загрязнения. Особую тревогу вызывает ситуация в Макеевке (шахта «Юнком»), где в 1979 году проводился подземный ядерный взрыв; подъем шахтных вод здесь может спровоцировать выход радиоактивных элементов на поверхность.

Не менее серьёзной является проблема загрязнение территорий взрывоопасными предметами (ВОП): минами и неразорвавшимися боеприпасами (НЗБ). Их наличие препятствует проведению рекультивационных работ, использованию природных ресурсов и обслуживанию критически важных объектов.

Исходя из перечисленных проблем, научный подход к стратегии экологической реставрации, является наиболее эффективным решением. Учитывая все перечисленные факторы, комплексное восстановление ландшафтов в Донецком регионе должно включать не только стандартное управление промышленными отходами, но и многоступенчатую систему мер: разминирование, детоксикацию и восстановление почв, пострадавших в результате проведения на данной территори специальной военной операции.

Для достижения максимально позитивного результата в экологическом восстановлении необходимо применять адаптивные системы озеленения и гибридную стратегию. Научная разработка таких адаптивных систем зависит от выбора технологий рекультивации и синтеза эффективных методик. Поскольку масштаб экологического ущерба на Донбассе беспрецедентен, полное восстановление земель через глубокую переработку отходов часто технологически сложно и экономически невыгодно. В таких условиях наиболее перспективным и рациональным подходом становится гибридная стратегия: она сочетает минимально необходимый технический этап работ с интенсивным биологическим восстановлением (биоремедиацией) [5].

Нормативные документы, такие как ГОСТ Р 59057-2020, подчеркивают обязательность проведения как технической, так и биологической рекультивации [2]. Однако в зависимости от конкретного объекта, акцент может быть смещен. Например, в случае терриконов, приоритетной задачей становится не возврат к исходному состоянию, а санитарно-гигиеническое и ландшафтное преобразование территории. Именно в этом контексте биологический этап, а именно фитотехнологии, приобретают особую значимость.

Фиторемедиация – это экологически чистая технология, использующая способность растений и связанных с ними микроорганизмов очищать почву, воду и воздух от загрязняющих веществ. Растения поглощают загрязнители через корневую систему, разлагают их или иммобилизуют в своих тканях, предотвращая их дальнейшее распространение [5].

Фитостабилизация – это метод, основанный на иммобилизации загрязняющих веществ в почве с помощью корневых экссудатов растений. Он идеально подходит для терриконов и шлакоотвалов, так как эффективно предотвращает ветровую эрозию и вымывание тяжелых металлов и радиоактивных элементов. Цель фитостабилизации — не извлечение загрязнителей, а их надежное закрепление на месте. Для устранения экологических вызовов, характерных для Донецка, связанных с загрязнением почвенных и водных объектов тяжелыми металлами и иными токсическими веществами, перспективным является применение методов фиторемедиации. В рамках данного подхода выделяют два наиболее актуальных механиза: фитоэкстракцию и фитоаккумуляцию.

Фитоэкстракция предполагает использование растений, обладающих способностью поглощать и накапливать вредные загрязнители из грунтов и водных сред в тканях растений-

гипераккумуляторов. Данный подход может быть применен на локальных участках с высокой концентрацией загрязнителей, например, вблизи промышленных обьектов. Однако это требует последующего сбора и утилизации зеленой массы [5]. После развития на загрязненных участках биомасса таких растений подлежит удалению и безопасной утилизации, что способствует снижению концентрации токсичных веществ в окружающей среде. В условиях Донецка, где почвы и водные ресурсы подверглись значительному радиоактивному и химическому загрязнению и требуют экологической реставрации, применение данного механизма может существенно уменьшить уровень загрязнения и содействовать экологической реабилитации, а применение фитоаккмуляторов может стать важным компонентом комплексных мер по восстановлению окружающей среды.

Таким образом, внедрение методов фиторемедиации, основанных на механизмах фитоэкстракции и фитоаккумуляции, представляет собой перспективное направление для снижения экологической нагрузки и восстановления экологического баланса в регионе Донецка.

Даее рассмотрим принципы подбора растений для создания адаптивных систем. Эффективность озеленения в условиях техногенного загрязнения напрямую зависит от правильного подбора растений. Необходимо использовать комплексный подход, учитывающий несколько важных ключевых критериев:

- экологическая устойчивость растений, которые должны быть способны выживать в условиях техногенного стресса, включая обедненные почвы, высокие температуры (характерные для терриконов) [3] и засуху;
- аборигенность – использование местных, аборигенных видов, уже адаптированных к климатическим и почвенным условиям Донбасса, повышает выживаемость насаждений и снижает затраты на уход;
- специализация – включение в систему растений-гипераккумуляторов, способных накапливать специфические загрязнители, позволяет решать точечные задачи очистки. Например, ива (Salix) является культурой, которая активно исследуется на предмет фитодобычи тяжелых металлов [3].

Исходя из выше сказанного, можно предложить модель адаптивного озеленения для СЗЗ промышленных предприятий Донецкого региона.

Озеленение санитарно-защитных зон должно быть не сплошным, а целенаправленным, основанным на принципах многоуровневой структуры. Предлагается следующая модель:

- древесный ярус: высадка деревьев с широкой кроной для поглощения пыли и газообразных загрязнителей. В промышленных районах Урала успешно используются плотные посадки деревьев, таких как рябина;
- кустарниковый ярус: использование кустарников, таких как сирень, шиповник, боярышник, для создания шумозащитных барьеров и повышения биологического разнообразия;
- травянистый ярус: высадка многолетних трав и цветов, способных к фитостабилизации и эстетическому преобразованию территории.
- Такая многоуровневая система обеспечивает комплексную защиту населения, выполняя функции пыле- и газоочистки, шумопоглощения и повышения эстетической ценности территории.

Далее рассмотррим концепцию озеленения объектов ОНЭУ: кейс-стади терриконов и шлакоотвалов. Рекультивация терриконов и шлакоотвалов требует сочетания технических и биологических методов. На первом, техническом этапе, необходимо провести работы по формированию устойчивого рельефа, террасированию и, по возможности, нанесению плодородного слоя почвы [5]. Это создает основу для последующего биологического этапа, который является ключевым для этих объектов. Основной стратегией здесь является фитостабилизация. Массовая высадка неприхотливых аборигенных кустарников, таких как терн или различные виды шиповника, позволит создать мощную корневую систему, которая стабилизирует склоны и предотвратит эрозию. Для участков с доказанным высоким

загрязнением тяжелыми металлами или другими токсичными веществами, например, в непосредственной близости от основания отвалов, целесообразно применение фитоэкстракции. В этих зонах могут быть высажены специализированные растения-гипераккумуляторы, такие как ива (Salix).

Заключение

Проведенное исследование показало, что создание эффективных адаптивных систем озеленения в условиях Донецка требует комплексного подхода, учитывающего специфику городской среды и действующее правовое поле. Ключевые выводы работы сводятся к следующему.

Во-первых, после перехода под юрисдикцию Российской Федерации, все проекты по установлению санитарно-защитных зон и рекультивации объектов накопленного экологического ущерба в Донецке должны строго соответствовать федеральному законодательству РФ. Это включает использование СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 и ГОСТ Р 59057-2020 [2].

Во-вторых, в условиях Донбасса, где полное технологическое восстановление нарушенных земель экономически нецелесообразно, наиболее перспективным и обоснованным методом является гибридная рекультивация с акцентом на биологический этап и фитотехнологии. Особое значение приобретает фитостабилизация – метод, позволяющий надежно закрепить загрязняющие вещества в теле отвалов, предотвращая их распространение.

В-третьих, ключевым элементом успеха является научно обоснованный подбор растений. Оптимальная стратегия заключается в сочетании использования аборигенных видов, уже адаптированных к местным условиям, для общей стабилизации и ландшафтного озеленения, и специализированных гипераккумуляторов для точечной очистки особо загрязненных участков [3].

В-четвертых, проведение специальной военной операции, добавило к экологическим проблемам Донецка уникальные и масштабные вызовы, включая загрязнение почв тяжелыми металлами и взрывчатыми веществами, а также риски, связанные с затоплением шахт и минированием территорий. Это требует разработки специализированных программ рекультивации, включающих не только традиционные методы, но и разминирование, а также фиторемедиацию взрывчатых соединений.

Перспективы дальнейших исследований включают проведение долгосрочного натурного мониторинга эффективности предложенных систем на конкретных объектах Донецка, что позволит уточнить и оптимизировать модели озеленения. Интеграция концепции зеленой инфраструктуры в стратегию городского развития Донецка позволит превратить зоны экологического риска из источников угрозы в функциональные, безопасные и эстетически привлекательные элементы городской среды, способствуя устойчивому развитию региона.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 10 июля 2018 г. N 800 «О проведении рекультивации и консервации земель».

2. ГОСТ Р 59057-2020 «Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель».

3. Андроханов В. А., Богуславский А. Е., Соколов Д. А. и др. Почвенно-экологическая оценка рекультивации отвалов угольных месторождений // Химия в интересах устойчивого развития. 2023. № 31. С. 1–12.

4. Капустин А. Е., Бутенко Э. О. Экологическая ситуация промышленных регионов Донбасса и Приазовья // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. 5/6 (47) С. 50-55.

5. Родькин О. И. Фиторемедиация как метод комплексного решения экологических проблем // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2024. Т. 34, вып. 3. С. 284-295.

References

1. Decree of the Government of the Russian Federation dated July 10, 2018, No. 800 "On the implementation of land reclamation and land conservation".

2. GOST R 59057-2020 "Environmental protection. Land. General requirements for the reclamation of disturbed land".

3. Androkhanov V. A., Boguslavsky A. E., Sokolov D. A., et al. Soil and Ecological Assessment of Coal Mine Dumps Reclamation // Chemistry for Sustainable Development. 2023. No. 31. P. 1–12.

4. Kapustin A. E., Butenko E. O. Ecological Situation of the Industrial Regions of Donbas and the Sea of Azov // East European Journal of Advanced Technologies. 2010. 5/6 (47) P. 50-55.

5. Rodkin O. I. Phytoremediation as a method of complex solution of environmental problems // Bulletin of Udmurt University. Series "Biology. Earth Sciences". 2024. V. 34, No. 3. P. 284-295.

DOI: 10.58168/Forestry2025_42-46
УДК 635.925:582.773.2(470.57-25Уфа)

РОСТ КУЛЬТУР ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНЫЙ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. УФЫ)

С.И. Гарфутдинова, М.В. Мартынова, А.К. Габделхаков, Д.Ф. Исламова

соискатель кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна,
д-р, с.-х. наук, доцент, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна,
канд., с.-х. наук, доцент, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна,
обучающаяся по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело,
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, Россия

Аннотация. В ходе исследования был проведен анализ динамики роста лип мелколистных, произрастающих в условиях города Уфы. Липа мелколистная установлена как одна из наиболее распространенных пород деревьев, используемых для озеленения городской территории. В парке имени Г. Рутто на момент учета (2018 год) средний диаметр лип составил 19,4 см, а средняя высота – 20,0 м. Липы в парке относятся к II классу бонитета. В районе, прилегающем к 21-й больнице, средний диаметр лип составляет 17,4 см, а средняя высота – 17,5 м. Этот участок относится к I классу бонитета. Сравнение параметров древостоя парка с данными таблиц хода роста липовых семенных насаждений по Матвееву-Мотину показало, что значения в парке отличаются минимальными средними величинами от значений естественных насаждений. Однако высокая полнота древостоя (1,0) обусловила меньшие показатели диаметра. Ряды распределения диаметров на высоте 1,3 м древостоев пробных площадей в целом соответствуют нормальному распределению: коэффициенты асимметрии и эксцесса находятся в пределах двукратной стандартной ошибки.
Ключевые слова: липа мелколистная, городская среда, рост, культуры, насаждение.

THE GROWTH OF SMALL-LEAVED LINDEN CROPS IN AN URBAN ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF UFA)

S.I. Garfutdinova, M.V. Martynova, A.K. Gabdelkhakov, D.F. Islamova

Applicant of the Department of Forestry and Landscape Design,
Dr. of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry and Landscape Design,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry and Landscape Design,
student of the 35.03.01 Forestry program

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Abstract. The study analyzed the growth dynamics of small-leaved lime trees growing in Ufa. Small-leaved linden is established as one of the most common tree species used for landscaping urban areas. In Rutto Park, at the time of accounting (2018), the average diameter of the lime trees was 19.4 cm, and the average height was 20.0 m. The lime trees in the park belong to the II class of the bonus.

In the area adjacent to Hospital 21, the average diameter of the lime trees is 17.4 cm, and the average height is 17.5 m. This site belongs to the first class of the bonus. A comparison of the

© Гарфутдинова С. И., Мартынова М. В., Габделхаков А. К., Исламова Д. Ф., 2025

parameters of the park's stand with the data from the Matveev-Motin tables of the growth of linden seed plantations showed that the values in the park differ by minimal average values from the values of natural plantations. However, the high completeness of the stand (1.0) led to lower diameter values. The diameter distribution series at a height of 1.3 m of the stands of the sample areas generally correspond to a normal distribution: the coefficients of asymmetry and kurtosis are within two times the standard error.

Keywords: small-leaved linden, urban environment, growth, culture, planting.

Введение. Повышение качества жизни в городских условиях требует создания рекреационных пространств, имитирующих природные условия, способствующих проведению досуга и охране здоровья населения. Городские зеленые насаждения обеспечивают не только эстетические преимущества, но и вносят значительный вклад в формирование и стабилизацию окружающей среды. Древесная растительность может служить барометром состояния окружающей среды в городах, сигнализируя о возможных негативных изменениях. Поэтому комплексные исследования состояния этих зеленых зон имеют решающее значение. Выявление закономерностей роста и использование полученных результатов для реализации эффективных стратегий озеленения имеют важное значение для обеспечения устойчивого развития наших городов [2].

Несмотря на то, что лесные массивы, расположенные в городской черте, составляют незначительную часть от общего объема лесов Российской Федерации, их экологическая значимость неоспоримо велика. Это обусловлено тем, что преобладающее большинство населения страны проживает в городских агломерациях. В связи с этим, городские леса приобретают особое значение как зоны отдыха и рекреации, способствующие минимизации уровня загрязнения воздуха и шума [6].

Широкое использование липы мелколистной в городском озеленении объясняется ее эстетикой, приспособляемостью к различным типам почв, быстрыми темпами роста, устойчивостью в зимний период и значительными экологическими преимуществами [7]. Однако для создания долговечных и визуально привлекательных насаждений, в которых преобладает липа, необходимо всестороннее понимание того, как факторы городской среды влияют на их биометрические характеристики. К сожалению, научно-обоснованной информации по этому вопросу, относящейся к конкретному региону, недостаточно. Поэтому крайне важно изучить особенности роста липы мелколистной в городских условиях, подверженных различной степени антропогенного воздействия. Это исследование послужит основой для разработки рекомендаций по созданию пространственной структуры насаждений, которые эффективно сочетают эти виды [4].

Цель исследования – анализ роста культур липы мелколистной в условиях урбанизированной среды.

Методика исследования. В основу исследований положен метод пробных площадей [5]. На исследуемых территориях изучены культуры липы мелколистной, относящиеся к I и II классам бонитета. Все материалы обработаны стандартными методами вариационной статистики (5) с применением компьютерных программ Microsoft Excel и Statistica.

Результаты исследований. Липа мелколистная (Tilia cordata) является древесным видом, оказывающим существенное влияние на экологическое равновесие городской среды и качество жизни населения в условиях урбанизации.

В городе Уфе липа мелколистная широко используется для озеленения городской среды. Данный вид деревьев характеризуется высокой адаптацией к городским условиям и способностью улучшать качество воздуха за счет очистки атмосферы от вредных примесей. Следовательно, мониторинг состояния насаждений липы мелколистной в урбанизированных территориях приобретает исключительно важное значение [1,3].

В ходе проведения исследований были заложены пробные площади на территории городского округа город Уфа Республики Башкортостан в Дендропарке имени лесовода

Георгия Рутто (учет 2007 и 2018 гг.) и на территории лесных насаждений, прилегающих к 21 больнице – учет 1996, 1999, 2002, 2017 и 2022 гг. (рисунок 1).

а) Липа мелколистная, произрастающая на территории прилегающей к 21 больнице

б) Липа мелколистная, произрастающая в Дендропарке имени лесовода Георгия Рутто

Рисунок 1 – Липа мелколистная на объектах исследования

Средние таксационные характеристики древостоев в разные годы учета приведены в таблице 1. Пробные площади представлены типом леса снытьевый, тип условий местопроизрастания – C_2. Насаждения по составу чистые – 10Лп. На момент закладки пробных площадей возраст липняков, произрастающих в парке, составил – 67 лет, на территории больницы – 60.

Таблица 1 – Таксационные показатели культур липы мелколистной на пробных площадях

№ пробной площади/год учета	Возраст, лет	Состав	Средние		Класс бонитета	Число стволов, экз.га-1	Сумма площадей сечений, м2га-1	Запас, м3га-1
			высота, м	диаметр, см				
СП 14-47/1996	32	10ЛП	14,0	11,2	I	4187	41,01	269
СП 14-47/1999	36	10ЛП	14,9	11,3	I	4524	45,14	362
СП 14-47/2002	39	10ЛП	15,5	11,8	I	4066	44,59	362
СП 14-47/2017	53	10ЛП	17,0	15,9	I	2021	40,34	311
СП 14-47/2024	60	10ЛП	17,5	17,4	I	1694	40,39	324
Парк им. Г. Рутто/2007	56	10ЛП	17,7	17,4	II	1795	42,84	348
Парк им. Г. Рутто/2018	67	10ЛП	20,0	19,4	II	1586	46,87	394

В парке имени Г. Рутто на момент учета в 2018, липы иммет средний диаметр ствола 19,4 см и среднюю высоту 20,0 м. По таблице М.М. Орлова эти липняки относятся к II классу бонитета. В свою очередь, липы, расположенные в лесных насаждениях вблизи 21 больницы, характеризуются средним диаметром ствола 17,4 см и средней высотой 17,5 м, относящиеся к I классу бонитета. Сравнение параметров древостоя парка с таблицами хода роста липовых семенных насаждений по Матвееву-Мотину показывает, что показатели парка отличаются минимальными средними значениями от параметров естественных насаждений. При этом высокая полнота древостоя (1,0) обуславливает меньшие показатели диаметра.

Статистическая обработка исходного материала выявила следующее (таблица 2).

Таблица 2 – Статистические показатели перечета диаметров деревьев липы мелколистной на пробных площадях

Пробная площадь			Статистики рядов распределения											
Литер	A, лет	D, см	n, экз.	X, см	Me, см	Mo, см	S2	S	min, см	max, см	Cv, %	Cs, %	As	Ex
СП 14-47	32	11,2	314	10,8	10	10	8,29	2,88	4	18	27	1,5	0,12	-0,31
СП 14-47	36	11,3	523	10,8	11	8	10,11	3,18	3	22	29	1,3	0,45	0,08
СП 14-47	39	11,8	470	11,4	11	12	9,32	3,05	3	22	27	1,2	0,42	0,30
СП 14-47	53	15,9	291	15,3	15	12	15,18	3,90	8	30	25	1,5	0,92	0,88
СП 14-47	60	17,4	244	16,7	17	18	14,73	3,84	8	33	23	1,4	0,68	1,28
Рутто	56	17,4	626	17,0	16	16	14,85	3,85	8	32	23	0,9	0,52	0,22
Рутто	67	19,4	553	19,0	19	20	16,4	4,05	10	35	21	1,0	0,49	0,22

Примечания. A – возраст древостоя ПП, лет; D – средний диаметр древостоя ПП, см; n – объем выборки, шт.; X – среднее арифметическое значение, см; Me – медиана, см; Mo – мода, см; S2 – дисперсия, см2; S – стандартное отклонение, см; Xmin – минимальное значение, см; Xmax – максимальное значение, см; Cv – коэффициент вариации, %; Cs – точность опыта, %; As – коэффициент асимметрии; Ex – коэффициент эксцесса

Распределение диаметров древостоев на высоте 1,3 метра в пробных площадках в целом демонстрирует нормальное распределение. Это подтверждается тем, что коэффициенты асимметрии и эксцесса находятся в пределах их двукратных стандартных ошибок. Объем выборки достаточен для достоверного определения средних значений, поскольку точность эксперимента не превышает 1,5%. Коэффициент вариации по диаметрам на высоте 1,3 метра варьируется в диапазоне от 21% до 29% в зависимости от пробной площадки.

Заключение. Исследуемые участки насаждений липы мелколистной демонстрируют значительные различия в структуре, освещенности, степени внутривидовой конкуренции и воздействии рекреационной нагрузки. Рост деревьев, являясь непрерывным процессом, подвержен модификациям по своей форме и скорости под воздействием внешних факторов. Проведенный анализ показал тенденцию к уменьшению общего числа стволов с возрастом.

Данная закономерность обусловлена естественным отмиранием деревьев и проведением мероприятий по уходу за лесонасаждениями.

Список литературы

1. Абдулов, Т.Х. Видовой состав и ландшафтно-лесоводственные особенности насаждений городских парков г. Уфы: автореф. дис... канд. с.-х. наук. / Т.Х. Абдулов. – Уфа, 2013. – 19 с.
2. Авдеева Е.В., Кухар И.В. Изменчивость биометрических параметров роста березы повислой и липы мелколистной в скверах города Красноярска // Успехи современного естествознания. 2023. № 8. С. 14-22
3. Габделхаков А.К., Блонская Л.Н., Фазлутдинов И.И., Ябердина В.В., Мурзакаев Р.И. Изменчивость радиального прироста деревьев липы мелколистной (TILIA CORDATA MILL.). // Российский электронный научный журнал. 2022. № 3 (45). С. 71-85.
4. Лебедев, А.В. Динамика продуктивности и средообразующих свойств древостоев в условиях городской среды (на примере Лесной опытной дачи Тимирязевской академии) / А. В. Лебедев. Автореф. ... канд. с.х. наук. 06.03.02 «Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация» - Красноярск, 2019. - 20 с.
5. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки: ОСТ 56- 69-83. Введ. с 01.01.1984 г. – 60 с.
6. Martynova, M. Assessment of Urban Plantations Spatial-Temporal Structure / M. Martynova, R. Sultanova, A. Magasumova, G. Odintsov // Journal of Environmental Accounting and Management. – 2021. – Volume 10, Issue 1. – Pp. 39-47.
7. Moser-Reischl, A. Growth patterns and effects of urban micro–climate on two physiologically contrasting urban tree species / A. Moser–Reischl, M.A Rahman, S. Pauleit // Landscape and Urban Planning. – 2019. – Pp. 88-99.

References

1. Abdulov, T.Kh. Species composition and landscape-forestry features of plantations in urban parks of Ufa: author's abstract of dissertation... cand. of agricultural sciences. / T.Kh. Abdulov. – Ufa, 2013. – 19 p.

2. Avdeeva E.V., Kukhari I.V. Variability of biometric parameters of the growth of the pendulous birch and small-leaved linden in the squares of the city of Krasnoyarsk // Advances in Modern Natural Sciences. 2023. No. 8. Pp. 14-22

3. Gabdelkhakov A.K., Blonskaya L.N., Fazlutdinov I.I., Yaberdina V.V., Murzakaev R.I. Variability of radial growth of small-leaved linden trees (TILIA CORDATA MILL.). // Russian electronic scientific journal. 2022. № 3 (45). pp. 71-85.

4. Lebedev, A.V. Dynamics productivity and environment-forming properties of stands in an urban environment (on the example of a Forest experimental cottage of the Timiryazev Academy) / A.V. Lebedev. Abstract ... candidate of Agricultural Sciences. 06.03.02 "Forest Science, Forestry, Forest Management and Forest Taxation" - Krasnoyarsk, 2019. - 20 p.

5. Areas of trial forest management. The method of laying: OST 56-69-83. Introduced since 01.

6. Martynova, M. Assessment of Urban Plantations Spatial-Temporal Structure / M. Martynova, R. Sultanova, A. Magasumova, G. Odintsov // Journal of Environmental Accounting and Management. – 2021. – Volume 10, Issue 1. – Pp. 39-47.

7. Moser-Reischl, A. Growth patterns and effects of urban micro–climate on two physiologically contrasting urban tree species / A. Moser–Reischl, M.A Rahman, S. Pauleit // Landscape and Urban Planning. – 2019. – Pp. 88-99.

DOI: 10.58168/Forestry2025_47-54
УДК 630 232:630 561.1

ОСОБЕННОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПО ВЫСОТЕ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (Pinus sylvestris L.) В ЗАУРАЛЬЕ

М.В. Ермакова

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории Популяционной биологии древесных растений и динамики леса
Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Аннотация
Рассмотрены особенности формирования структуры по высоте ствола 12-летних искусственных молодняков сосны в Зауралье. При более высокой сохранности наибольшую долю имели деревья III-го класса роста. При более низкой сохранности увеличивалась доля деревьев I-го и II-го классов роста. Установлено, что дискриминация не позволяет установить четкие границы между деревьями ранговых групп по высоте I-IV групп, что свидетельствует о продолжении процесса дифференциации молодняков по высоте ствола.
Ключевые слова: сосна обыкновенная, высота деревьев, дифференциация

FEATURES OF DIFFERENTIATION BY HEIGHT OF FOREST PLANTATION OF SCOTS PINE (Pinus sylvestris L.) IN THE TRANS-URALS

M.V. Ermakova

Doctor of Agricultural Science
Leading Researcher, Laboratory of Population Biology of Woody Plants and Forest Dynamics

Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, Yekaterinburg, Russia

Abstract
The features of the formation of the structure along the stem height of 12-year-old artificial young pine trees in the Trans-Urals are considered. Trees of growth class III had the highest share of preservation. With lower preservation, the proportion of trees of the Ist and IInd growth classes increased. It was established that discrimination does not allow establishing clear boundaries between trees of rank groups by height of groups I-IV, which indicates the continuation of the process of differentiation of young trees by stem height.
Key words: Scots pine, tree height, differentiation

Одной из основных задач, обусловленной целями Экологической доктрины Российской федерации [9] является сохранение и восстановление природной среды. Значительная часть этой задачи выполняется в рамках воспроизводства лесных ресурсов как естественным, так и искусственным путем. Восстановление лесов искусственным путем, в том числе и сосны обыкновенной осуществляется главным образом, путем посадки лесных культур и требует соблюдения целого комплекса технологических требований при их создании [5].

© Ермакова М. В., 2025

Изучение особенностей формирования структурно-функциональной организации молодняков сосны, в том числе искусственного происхождения, прежде всего, связано с необходимостью, получения как можно более полных данных о характере этого процесса в конкретных природно-климатических условиях. Знание этих особенностей позволит более оптимально планировать необходимые лесохозяйственные мероприятия, обеспечивающие дальнейшее формирование насаждений сосны, соответствующих конкретным лесорастительным условиям [6, 7, 11]

Одной из особенной формирования молодняков сосны является дифференциация их деревьев по основным биометрическим параметрам. Многочисленными исследованиям, в том числе и нашими, было показано, что в молодняках сосны I класса возраста дифференциация деревьев по толщине ствола дифференциация деревьев еще находится активной стадии. По высоте ствола в лесных культурах сосны, напротив, к 8-12 летнему возрасте процессы дифференциации деревьев уже стабилизируются. Следовательно, определяются лидирующие, средние и отстающие по высоте ствола деревья. Однако, до настоящего времени, недостаточно, на наш взгляд рассмотрен вопрос взаимосвязи дифференциации по высоте ствола и его толщине у деревьев в искусственных молодняках сосны.

Кроме того, до сих пор, на наш взгляд недостаточно изучен вопрос, в какой момент происходит дифференциация деревьев сосны по высоте. В целом, высота деревьев сосны представляет собой комплексный показатель длины годичных побегов ствола. Этот древесный вид отличается детерминированным (моноподиальным ветвлением), у которого рост в высоту осуществляется за счет функционирования апикальных меристем. Побег сосны характеризуется метамерным строением [2].

Цель нашей работы заключалась в изучении особенностей динамики формирования вертикальной структуры искусственных молодняков сосны.

Объекты исследований молодняки сосны I класса возраста искусственного происхождения, произрастающие в условиях сосняка ягодникового (С яг.). В целом, территория, где проводились наши исследования, относится к Средне-Уральскому лесному району (Свердловская область). Пробная площадь 1 (ПП 1) приурочена к округу сосново-березовых предлесостепных лесов, а пробная площадь 2 (ПП 2) к южнотаежному округу Зауральской холмисто-предгорной провинции [10]. Данные округа являются сопредельными.

Исследованные искусственные молодняки были созданы в один и тот же период путем посадки лесных культур сосны по бороздам. При посадке в качестве посадочного материала использовались 2-летние сеянцы сосны местного производства. На каждой ПП было высажено, согласно учетам, по 6 тыс. шт. сеянцев при среднем размещении на ПП 1 0,5х3,3 м, а на ПП 2 – 0,5х3,4 м.

Полевые исследования на ПП искусственных молодняков проводились в соответствии с современными методами [4]. После учета сохранившихся деревьев на ПП, подбирались наиболее полные ряды посадки. В них у каждого дерева измерялся диаметр на высоте груди (Д 1,3 м) и высота ствола (Н ств.). Особенно тщательно измерялась у всех деревьев длина каждого годичного прироста по высоте. Объем выборки на каждой ПП составил не менее 150 деревьев.

В лабораторных условиях проводилась статистическая обработка полученных данных. Кроме того, для деревьев, определялись ранговые коэффициенты и их амплитуда (АРК) [12]. Ранговый коэффициент определялся как отношение величины показателя дерева к величине показателя среднего дерева. После выполнения расчетов проводилось распределение деревьев по 5-ти ранговым классам. Распределение по ранговым классам и оценка уровня изменчивости выполнялось по соответствующим методикам [1, 3].

При анализе полученных данных помимо общепринятых описательных статистик, использовался статистический дискриминантный анализ.

Апостериорное сравнение средних проводилось с помощью t-критерия Стьюдента и LSD-теста. Полученные данные обрабатывались с помощью пакета программ Excel и STATISTICA 10 [8, 12].

Как показал анализ полученных данных, искусственные молодняки сосны на ПП 1 и ПП 2 отличались по показателю сохранности (57,8 и 41,2 % от общего количества высаженных, соответственно). Однако, по средним биометрическим показателям (таблица 1) различие оказалось несущественным. Уровень изменчивости по диаметру на ПП 1 был повышенным, а на ПП 2 – высоким. Уровень изменчивости по высоте ствола как на ПП 1, так и на ПП 2 был средним. Это также отразилось и на величине амплитуды ранговых коэффициентов.

Таблица 1 -Средние биометрические показатели деревьев на пробных площадях искусственных молодняков

Биометрический показатель, см	(M ± m)	V, %	АРК
ПП 1			
Д 1,3м	5,1 ± 0,11	29,47	1,530
Н ств.	380,0 ± 4,76	17,17	0,915
ПП 2			
Д 1,3м	5,1 ± 0,17	33,14	1,373
Н ств.	390,0 ± 6,67	17,98	0,866

Распределение деревьев по классам высоты на ПП 1 и ПП 2 довольно значительно различалось (риснок 1).

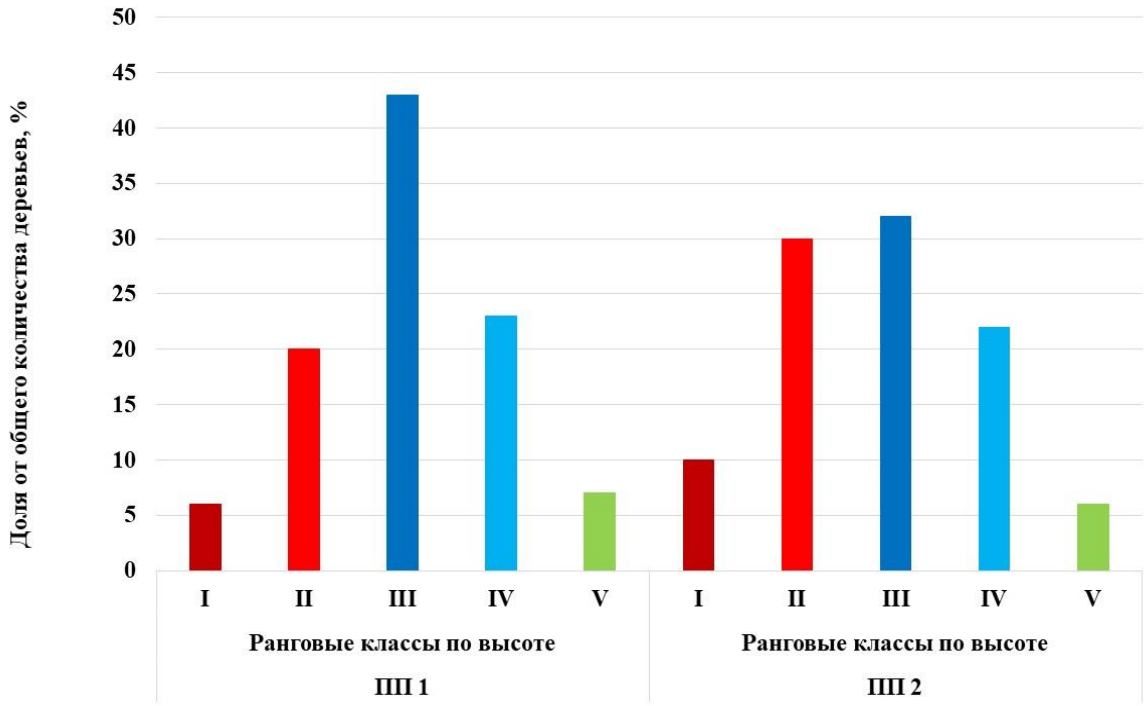


Рисунок 1. Распределение деревьев на пробных площадях по классам высоты

На ПП 1, где отмечалась более высокая сохранность деревьев, наибольшую долю имели деревья III-го класса роста (средние по высоте). Доля таких деревьев была значительно выше, чем на ПП 2. В свою очередь, на ПП 2, доля деревьев I-го и II-го классов роста (лидеры и сублидеры по высоте) была значительно выше, чем на ПП 1. Доля отстающих в росте деревьев IV-го и V-го классов роста на ПП 1 и ПП 2 была примерно одинакова. Кроме того, не выявлено

существенных различий по высоте ствола, между деревьями соответствующих групп на ПП 1 и ПП 2 (рисунок 2).

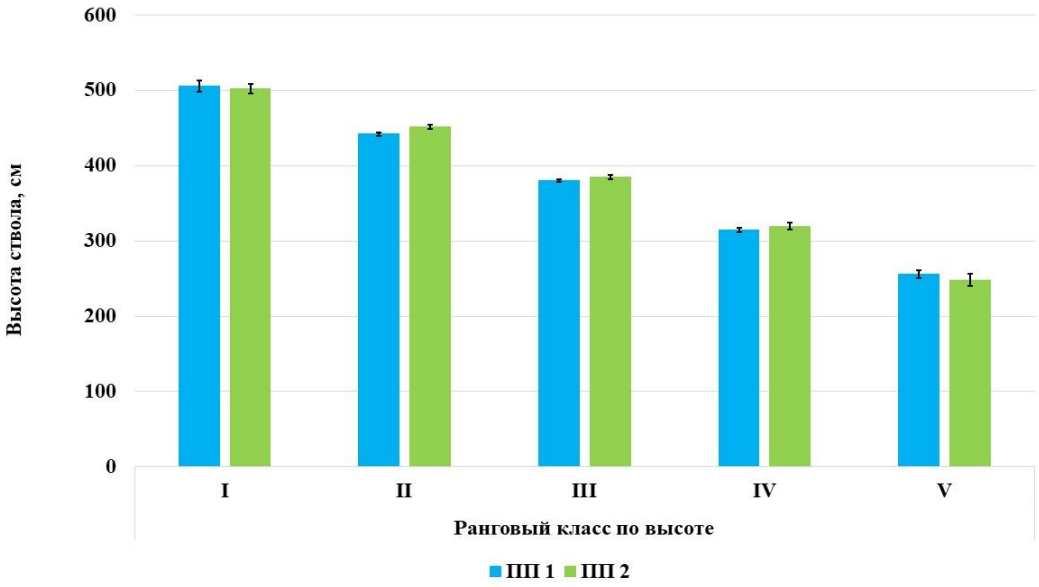


Рисунок 2. Средняя высота деревьев по классам высоты

По результатам дискриминационного анализа по величине всех приростов по высоте было установлено определенные особенности для каждой из ПП (таблица 2).

Так на ПП 1 при пошаговой дискриминации было установлено, что на ПП 1 переменными вне модели оказались приросты по высоте за 2-й, 5-й и 8-й год пребывания на лесокультурной площади. На ПП 2 вне модели оказались приросты за 1-й, 5-6-й 9-й годы пребывания на лесокультурной площади.

Обращает на себя внимание, что как на ПП 1, так и на ПП 2, вне модели оказались приросты по высоте на 5-й год пребывания на лесокультурной площади. Как показали наши наблюдения, именно с этого момента в данных искусственных молодняках, начинался усиленных рост деревьев в высоту.

По результатам проведенного анализа была произведена дискриминация деревьев на ПП искусственных молодняков по темпам роста в высоту (рисунки 3-4).

Как видно, из рис. 3 и 4, наблюдения (деревья), относящиеся к одинаковым ранговым группам высоты, как на ПП 1, так и ПП 2, находятся в отдельных областях плоскости. Расстояние между центроидами групп I и II, II и III, III и IV значительно меньше, чем расстояния между центроидами групп IV и V, особенно, ранговых групп и V и I, V и II, V и III. Это свидетельствует о том, что V-я ранговая группа по высоте значительно отличается от ранговых групп по высоте I, II, III, и менее существенно от ранговой группы IV.

Недостаточно четкие границы между деревьями ранговых групп по высоте I и II, II и III, III и IV свидетельствует о том, что хотя имеются все признаки стабилизации процесса дифференциации по высоте ствола, в дальнейшем, вполне возможен, в силу различных причин, дрейф деревьев из одной ранговой группы в другую.

Таблица 2-Итоги анализа дискриминантных функций

Показатель	λ-Wilks	Частичная λ	*F*	Уровень значимости
ПП 1 (λ-Wilks : 0,0814; $F_{табл.(36,45)}$ = 11,95 p < 0,0000)				
Z9	0,0976	0,8347	5,9394	0,0002
Z7	0,0994	0,8192	6,6206	0,0001

Z4	0,0886	0,9194	2,6289	0,0378
Z10	0,0888	0,9169	2,7201	0,0328
Z3	0,1113	0,7319	10,9889	0,0000
Z12	0,1051	0,7750	8,7104	0,0000
Z11	0,1002	0,8128	6,9112	0,0000
Z6	0,0968	0,8415	5,6507	0,0003
Z1	0,0942	0,8646	4,6998	0,0015
ПП 2 (λ-Wilks : 0,0482; $F_{табл.(32,34)}$ = 13,45 p < 0,0000)				
Z10	0,0713	0,6758	10,9132	0,0000
Z8	0,0647	0,7445	7,8087	0,0000
Z11	0,0580	0,8308	4,6320	0,0019
Z4	0,0625	0,7707	6,7681	0,0001
Z12	0,0590	0,8162	5,1231	0,0009
Z7	0,0570	0,8456	4,1551	0,0039
Z2	0,0576	0,8367	4,4414	0,0025
Z3	0,0542	0,8888	2,8454	0,0284

Примечание. Z1…Zn – величина прироста по высоте, за соответствующий год пребывания на лесокультурной площади, см λ-Wilks – отношение детерминанта матрицы внутригрупповых дисперсий/ковариаций к детерминанту ковариационной матрицы; Частная λ – единичный вклад соответствующей переменной в разделительную силу модели; *F* - значения *F-критерия*, связанные с соответствующей частной λ Уилкса

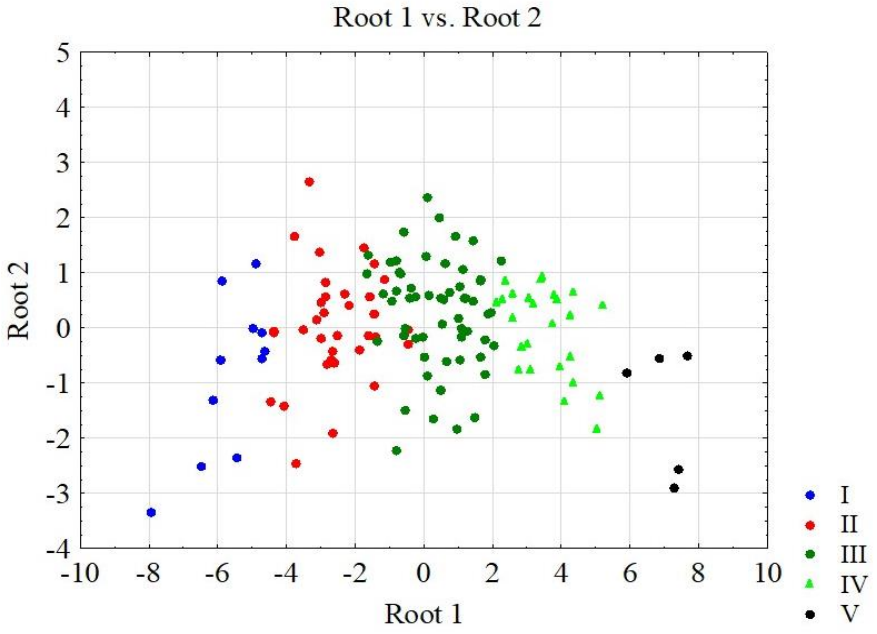


Рисунок 3. Диаграмма рассеяния канонических значений для пар дискриминантных функций на ПП 1

Как известно, характеристика положения деревьев в общей иерархии насаждения определяется, прежде всего, соотношением их диаметра и высоты. В табл. 3 приведены результаты анализа совместного распределения деревьев на ПП искусственных молодняков сосны по ранговым классам высоты и ранговым классам Д 1,3м.

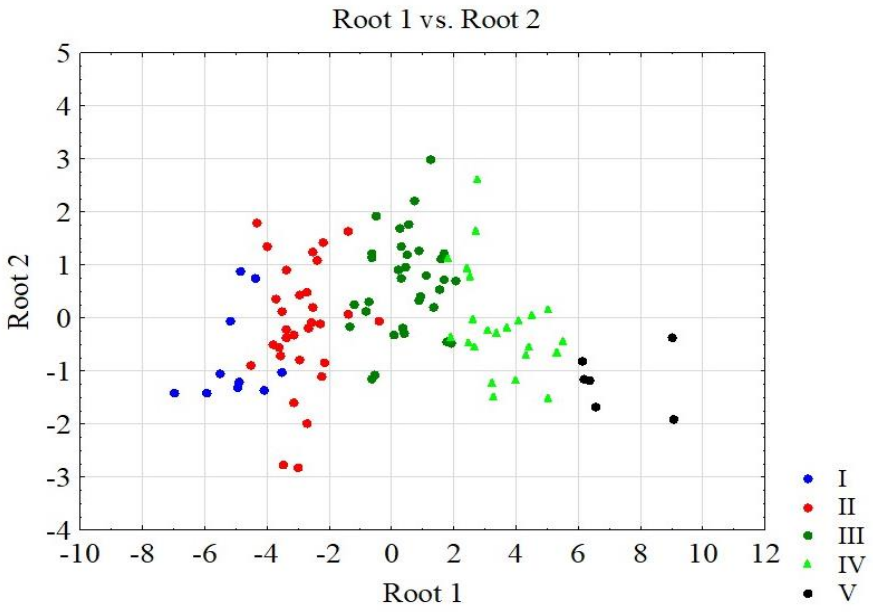


Рисунок 4. Диаграмма рассеяния канонических значений для пар дискриминантных функций на ПП 2

Таблица -Сопряженное распределение деревьев на ПП искусственных молодняков по ранговым классам высоты и диаметра (доля от общего количества деревьев), %

Ранговый класс Д 1,3м	Ранговый класс Н ств.									
	ПП 1					ПП2				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
I	7	3	3	1	0	5	6	1	0	0
II	2	11	13	1	0	5	14	5	0	0
III	1	5	20	8	0	0	11	16	1	0
IV	0	1	10	14	5	0	0	11	19	1
V	0	0	0	1	2	0	0	0	2	5

Как следует из таблицы 3 на ПП искусственных молодняков сосны только небольшая доля деревьев полностью соответствуют характеристики лидеров и сублидеров, как по высоте, так и диаметру. В свою очередь, значительная часть средних по размеру деревьев соответствуют своему ранговому положению и относятся к III-му ранговому классу и, по высоте и по диаметру. В свою очередь, определенная доля лидеров по высоте (I класс) и, в особенности сублидеров (II класс) относятся к III-му и, даже, к IV-му классу Д 1,3м.

На ПП 1, значительная часть деревьев III-го рангового класса по высоте относятся к I-II-му ранговым классам по диаметру. В свою очередь, и практически такая же доля средних по высоте деревьев относятся к IV-му ранговому классу Д 1,3м.

Отстающие по росту в высоту деревья (IV-V-го ранговых классов) в основном, относятся к соответствующим ранговым классам по Д 1,3м.

Таким образом, на основании полученных данных, следует отметить, что в 12-летних молодняках сосны искусственного происхождения, наблюдается определенное снижение интенсивности дифференциации деревьев по высоте ствола, особенно при пониженной густоте стояния. В целом, окончательное формирование структурно-функциональной организации искусственных молодняков сосны с учетом активной дифференциации деревьев

по толщине ствола, на наш взгляд, будет продолжаться еще в течение довольно длительного периода.

Список литературы

1. Беляева Н.В., Новиков А.И.., Данилов Д.А., Алкинж С. Таксационная структура насаждений сосны брутийской (Pinus brutia Ten.) в Сирии в зависимости от орфографических условий // Лесотехнический журнал. – 2023. - Т. 13. - № 1(49). – С. 67-84. DOI: https: // doi.org/10/34220/issn.2222-7962/2023.1/5

2. Зарубина Л.В., Хамитов Р.С. Сезонный рост сосны обыкновенной на заболоченных почвах Севера / Л.В. Зарубина, Р.С. Хамитов // ИВУЗ Лесной журнал. – 2021. - № 3. – С. 86-100. DOI: 10.37482.0536-1036-2021-3-86-100

3. Ермакова М.В. Формирование структурно-функциональной организации молодняков сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) смешанного естественного-искусственного происхождения в условиях сосняков ягодникового Среднего Урала / М.В. Ермакова // Лесотехнический журнал. - 2023. - Т. 13. - № 2 (50). - С. 43-58. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3

4. Методика полевых работ по таксации леса на постоянных пробных площадях в рамках реализации инновационного проекта государственного значения «Углерод в экосистемах: мониторинг». Консорциум № 4. Версия 1.0. М.: - 2023. – 32 с.

5. Правила лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления от 29 декабря 2021 г. № 1024. - URL: https:// www.garant/products/ipo/prime/doc/74983471/?ysclid=lbt6mjf8ck105564537(дата обращения: 18.12.2022 г.).

6. Собачкин Д.С., Собачкин Р.С., Петренко А.Е. Особенности роста и продуктивности сосновых молодняков, сформированных из деревьев разного ценотического статуса / Д.С. Собачкин, Р.С. Собачкин, А.Е. Петренко // Сибирский лесной журнал. – 2022. - №3. – С. 34-39. DOI: 10.15372/2/SJFS202203045

7. Солдатова Д.Н., Ильинцев А.С. Рост и продуктивность лесных культур сосны С.В. Алексеева на Европейском Севере России / Д.Н. Солдатова, А.С. Ильинцев // ИВУЗ Лесной журнал. – 2020. – № 2. – С. 99-112. DOI: 10/37482/0536-1036-2020-1-99-112

8. Усманов Р.Р. Статистическая обработка данных агрономических исследований в программе «STATISTICA» Учеб.-метод. пособие / Р.Р. Усманов: РГАУ-МСХА. – Москва, 2020. - 177 с. DOI: 10/34677/2020.004

9. Экологическая доктрина Российской Федерации. Утверждена указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2023 г. № 812. -URL.: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407782529/ (дата обращения 06.08.2025 г.).

10. Fomin V., Mikhailovich A., Zalesov S., Terehov G. Development of ideas within the framework of the genetic approach to the classification of forest types // Baltic Forestry. — 2021. — Vol. 27. — Iss. 1. — 466. DOI: 10.46490/BF466

11. Ilintsev A., Soldatova D., Bogdanov A., Koptev S., Tretyakov S. Growth and structure of pre-mature stands of Scots pine created by direct seeding in the boreal zone / A. Ilintsev, D. Soldatova, A. Bogdanov, S. Koptev, S. Tretyakov // 2021. Central European Forestry Journal., 67: 21-35. - DOI: //doi.org/10/17221/70/2020-JFS

12. Statistical Methods and Application in Forestry and Environmental Sciences. Gurish Chandra, Raman Nautiyal, Hukum Chandra (Eds.). Springe Singapore, January 2020. https: // doi.org/10.1007/978-981-15-1476-0

References

1. Beleva N.V., Novikov A.I., Danilov D.A., Alkinj S. A tax structure inhabiting the Bruthian pine (Pinus brutia Ten.) in Syria in the reserves of the Graphic University // Forestry Engineering Journal. – 2023. - Vol. 13. - № 1(49). – Pp. 67-84. DOI: https: // doi.org/10/34220/issn.2222-7962/2023.1/5

2. Zarubina L.V., Khamitov R.S. Seasonal growth of Scots pine on swampy soils of the North / L.V. Zarubina, R.S. Khamitov // IVZ Forest Journal. – 2021. - No. 3. – pp. 86-100. DOI: 10.37482.0536-1036-2021-3-86-100

3. M. Ermakova.V. Formation of the structural and functional organization of young pine trees of mixed natural and artificial origin in the conditions of pine forests of the berry Middle Urals / M.V. Ermakova // Forestry Engineering Journal. - 2023. - Vol. 13. - № 2 (50). - Pp. 43-58. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2023.2/3

4. The methodology of field work on forest taxation in permanent test areas within the framework of the implementation of the innovative project of national importance "Carbon in ecosystems: monitoring". Consortium No. 4. Version 1.0. Moscow: - 2023. – 32 p.

5. Provided reforestation, forms, composition, the opportunity to get acquainted with the reforestation project, explanations to answer your questions, as well as a prepared report in electronic form dated December 29, 2021 No. 1024. - URL: https:// www.garant/products/ipo/prime/doc/74983471 /?ysclid=lbt6mjf8ck105564537 (accessed: 12/18/2022).

6. Sobachkin D.S., Sobachkin R.S., Petrenko A.E. Features of growth and productivity of pine young trees formed from trees of different cenotic status / D.S. Sobachkin, R.S. Sobachkin, A.E. Petrenko // Siberian Forest Journal. – 2022. - №3. – pp. 34-39. DOI: 10.15372/2/SJFS202203045

7. Soldatova D.N., Ilyintsev A.S. Growth and productivity of forest crops of S.V. Alekseev's pine in the European North of Russia / D.N. Soldatova, A.S. Ilyintsev // IVZ Forest Journal. – 2020. – No. 2. – pp. 99-112. DOI: 10/37482/0536-1036-2020-1-99-112

8. Usmanov R.R. Statistical data processing in the program "STATISTICA" Textbook. manual / R.R. Usmanov: RGAU-MSHA. Moscow, 2020. 177 p. DOI: 10/34677/2020.004

9. Environmental doctrine of the Russian Federation. The Order of the President of the Russian Federation No. 812 dated October 26, 2023 was approved. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407782529 / (accessed 08/06/2025).

10. Fomin V., Mikhailovich A., Zalesov S., Terekhov G. The development of ideas within the framework of a genetic approach to the classification of forest types // Baltic Forestry. — 2021. — Volume 27. — Iss. 1. — 466. DOI: 10.46490/BF466

11. Ilyintsev A., Soldatova D., Bogdanov A., Koptev S., Tretyakov S. Growth and structure of ripe stands of Scots pine created by direct sowing in the boreal zone / A. Ilyintsev, D. Soldatova, A. Bogdanov, S. Koptev, S. Tretyakov // 2021. Central European Forest Journal., 67:21-35. - DOI: //doi.org/10/17221/70/2020-JFS

12. Statistical methods and their application in forestry and environmental sciences. Gurish Chandra, Raman Nautiyal, and Hukum Chandra (eds.). Singapore, January 2020 https: // doi.org/10.1007/978-981-15-1476-0

DOI: 10.58168/Forestry2025_55-59
УДК: 630 181.351

ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РОСТА *QUERCUS PUBESCENS* WILLD НА ЮГЕ РОССИИ

В.П. Коба, А.А. Нагорняк

доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией лесоведения
аспирант лаборатории лесоведения
Никитский ботанический сад – Национальный научный центр
г, Ялта, Россия

В России *Q. pubescens* произрастает на Северном Кавказе в двух изолированных друг от друга районах. На крайнем западе – в нижней горной зоне и на побережье Черного моря. На востоке – в предгорьях Большого Кавказа и в приморских районах Дагестана. В Крыму основной массив лесов *Q. pubescens* распространен в приморской части южного макросклона Главной гряды Крымских гор. Большая часть насаждений *Q. pubescens* представлена низко продуктивными древостоями порослевого происхождения.

Ключевые слова: *Q. pubescens,* ареал, насаждения, состояние, формовое разнообразие

TERRITORIAL DISTRIBUTION AND GROWTH CHARACTERISTICS OF QUERCUS PUBESCENS WILLD IN THE SOUTHERN RUSSIA

V.P. Koba, A.A. Nagoryak

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Forestry Laboratory
Postgraduate student of the Forestry Laboratory

Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center, Yalta, Russia

In Russia, Q. pubescens grows in the North Caucasus in two isolated areas. In the extreme west - in the lower mountain zone and on the Black Sea coast. In the east - in the foothills of the Greater Caucasus and in the coastal areas of Dagestan. In Crimea, the main forest massif of Q. pubescens is distributed in the coastal part of the southern macroslope of the Main Ridge of the Crimean Mountains. Most of the plantations of Q. pubescens are represented by low-productivity stands of coppice origin.

Keywords: Q. pubescens, habitat, plantations, condition, form diversity

Среди множества задач, направленных на сохранение лесных ресурсов Горного Крыма и Северного Кавказа, одной из основных является оценка жизненного состояния, устойчивости и возобновления лесных формаций. Наиболее ценными являются дубовые леса, составляющие значительную часть природных лесных насаждений и формирующие облик Горных районов Крыма и Кавказа [6]. Дуб пушистый (*Quercus pubescens* Willd) – листопадное медленнорастущее дерево высотой 10-15 метров, одна из важнейших древесных пород, произрастающая и образующая дубовые леса на прибрежных территориях и в нижнем горном поясе субтропического и умеренного климата на обширных территориях. В Европе

© Коба В. П., Нагорняк А. А., 2025

распространен от северной Испании по всей северной части средиземноморья (кроме о. Сардиния) до Балканского полуострова и северного Крыма, он также произрастает в Малой Азии и на Северном Кавказе. Северная граница его ареала в Европе проходит по Нормандии (Франция), южным районам Бельгии, Тюрингии, южным Карпатам (Румыния), Подолии, Крыму и Северному Кавказу, по прикаспийским районам Дагестана.

Q. pubescens встречается на сланцах, мергелях, песках, илах и известковых участках. При произрастании на глубоких аллювиальных почвах *Q. pubescens* может достигать значительных размеров и возрастных показателей [13, 14]. *Q. pubescens* плохо растет на переувлажненных почвах, проявляет высокую устойчивость к действию водного дефицита, к низкой влажности грунта в засушливых летних условиях [9, 10]. На протяжении всего плейстоценового оледенения средиземноморские виды рода *Quercus* L. часто произрастали в пределах экологических убежищ. В последующем в результате постоянной вырубки насаждений *Q. pubescens* произошла фрагментация его природного ареала. В настоящее время в Средиземноморье в результате частых рубок большая часть насаждений являются порослевыми 3 и 4 генерации многоствольных деревьев *Q. pubescens* [11, 12]

По экологической природе *Q. pubescens* является типичным ксерофитом, исходные формы, давшие начало большому разнообразию его современных форм, в том числе и гемиксерофитных, распространенных в более влажных и холодных районах средней Европы, должны были дифференцироваться в ксерофитных лесных формациях. Наиболее древние формы *Q. pubescens* характеризуются значительным ксероморфизмом, им присущи мелкие, серовато-зеленые, глубоко рассеченные, жесткие, густо опушенные листья с зубчатыми заостренными лопастями и волнистым краем, опушенными побегами и черенками листьев и полушаровидной плюской. В настоящее время такие формы произрастают в наиболее сухих лесных формациях Южной Европы, Северного Кавказа и Малой Азии. Именно эти формы в настоящее время образуют генетическое ядро *Q. pubescens.*

К различным формам *Q. pubescens* относят сидячецветковые дубы с густо опушенными одно-двухлетними побегами, черешками, плодоножками, плюской и нижней поверхностью листовой пластинки, с листьями разнообразной формы и размеров, преимущественно мелкими, выемчато-лопастными [5]. Впервые данный вид дуба был описан Жаном Батистом Ламарком в 1778 г. под названием *Quercus lanuginose*. Однако позднее по настоящее время общепризнанным названием дуба пушистого было принято *Quercus pubescens* Willd. Наиболее полно характеризует изменчивость морфологических признаков *Q. pubescens* система п, Ашерсона и П. Гребнера. Эти авторы подразделяют Gesammatrat *Q. pubescens* на две больших группы: формы со слабо выемчатыми листьями, короткими и плоскими лопастями; формы с длиннолопастными или перисто рассеченными листьями. В первой группе различают формы с листьями средних размеров (не более 6 см длины), к которым относятся густо опушенные растения с устойчивым опушением. Вторая группа объединяет глубоко рассеченные формы *Q. pubescens,* включая крупнолистные туполопастные формы и многочисленный ряд форм с листьями малых и средних размеров, 3–6 см длины. Кроме строения листовой пластинки П. Ашерсон и П. Гребнер учитывали и другие признаки, на основе которых они приводят параллельные классификации внутривидовых форм *Q. pubescens*: по деталям строения плюски, числу желудей на полодоножке и др. [4]. Систему форм и разновидностей *Q. pubescens,* произрастающего в районе Геленджика – Новороссийска предложили И. В. Новопокровский и М.М. Матвеева. Всего ими было описано 6 разновидностей и 8 форм, выявленных по морфологическим признакам листовой пластинки. Свое подразделение крымских форм *Q. pubescens* предложил Е. В. Вульф [1]. Он выделял две группы форм: первая – объединяющая формы с лопастными листьями, которые в большинстве случаев не бывают глубоко надрезанными; вторая – с длиннолопастными листьями, перисторассеченными. Е.В. Вульф особо выделяет значение гибридизации в увеличении полиморфизма *Q. pubescens.*

На Северном Кавказе *Q. pubescens* произрастает в двух изолированных друг от друга районах. На крайнем западе – в нижней горной зоне и на побережье Черного моря (Геленджик

– Новороссийск). На востоке – в предгорьях Большого Кавказа (Кубинский район Азербайджана) и в приморских районах Дагестана (Махачкала – Дербент). В Крыму *Q. pubescens* имеет большое экологическое значение, образуя леса не только на Южном берегу Крыма, но и на северном склоне Крымских гор в полосе предгорий, не поднимаясь выше, чем на 100-400 метров над уровнем моря. В течение последних 50 лет стоит острая проблема сохранения лесных насаждений, где *Q. pubescens* является главной лесообразующей породой. Они выполняют не только почвозащитную, водоохранную и водоудерживающую функции, но представляют значительный рекреационный ресурс. Возрастающая в последние годы хозяйственная и рекреационная деятельность оказывает негативное воздействие на природные насаждения, прежде всего на напочвенный покров и нижний травяно-кустарничковый ярус. Это наблюдается в том числе и на территориях, находящихся под особым статусом, включая заказники ландшафтно-природные парки. Это также негативно влияет на возобновление одной из важнейших лесообразующих пород.

На полуострове основной массив лесов *Q. pubescens* распространен в приморской части южного макросклона Главной гряды Крымских гор. Здесь *Q. pubescens* произрастает на высотах от 20 до 450–500 м над уровнем моря. Большая часть его насаждений представлена низко продуктивными древостоями порослевого происхождения. Нерациональная хозяйственная деятельность, проведение интенсивных рубок в прошлом определили снижение экологической устойчивости древостоев *Q. pubescens,* большую их повреждаемость вредителями и болезнями [3]. В настоящее время антропогенно обусловленные деструктивные явления наиболее масштабно проявляются в насаждениях *Q. pubescens* Южного берега Крыма, территория которого характеризуется высокой плотностью селитебных объектов и интенсивным развитием курортно-рекреационной деятельности. Одним из направлений повышения устойчивости и сохранения природных популяций *Q. pubescens* Крыма является формирование системы мероприятий по восстановлению их биоэкологического потенциала, организация мониторинга и разработка методов эффективного семенного воспроизводства. Важнейшей задачей в решении данных проблем является оценка условий произрастания, анализ эдафических факторов в биоценозах *Q. pubescens.*

Q. pubescens имеет высокую побегообразующую способность. Он способен давать большое количество поросли от поверхностных корней или непосредственно от основания главного ствола при его утрате по естественным причинам (пожары, засуха) или в результате спила. Поэтому нередко встречаются насаждения третьей, четвертой и даже пятой генерации. При этом в последние годы отмечается резкий спад семенного возобновления. Несмотря на то, что вплоть до высоты 300-600 м над уровнем моря на южном макросклоне Крымских гор дубовые насаждения (*Q. pubescens* и *Q. petraea*) являются преобладающими, их сегодняшний ареал значительно меньше исторического. Представлены они в основном порослевыми древостоями нескольких поколений, нетронутые насаждения встречаются крайне редко в труднодоступных местах и разрозненно.

Характеризуя в целом условия биоценозов *Q. pubescens* Крыма, следует отметить, что экологическая ситуация на данных территориях претерпела значительные изменения, связанные с тотальным уничтожением коренных древостоев в период активного хозяйственного освоения приморской части Крыма во второй половине прошлого тысячелетия [7, 8]. Ликвидация девственных насаждений определила последующие этапы негативных явлений, связанных со смывом почвы, развитием эрозионных и оползневых процессов, изменением микроклиматических условий, которые обеспечивались наличием мощного полога векового древостоя. Последующие этапы деградации биоценотической среды определили коренные изменения структуры и состава растительных сообществ, формирование на данных территориях низко продуктивных порослевых насаждений *Q. pubescens,* на некоторых участках полную утрату древесного яруса. Одна из причин деструктивных явлений в развитии биоценозов *Q. pubescens* – изменение водного баланса почвенной среды. Низкое содержание влаги в корнеобитаемом слое почвы наиболее жесткий лимитирующий фактор, ограничивающий семенное возобновления его коренных древостоев.

Сеянцы *Q. pubescens*, сформировавшиеся в годы благоприятные по семенной продуктивности и погодным условиям, в значительном количестве усыхают в летне – осенний период крайне низкого содержания влаги в почве. В настоящее время подрост в естественных насаждениях *Q. pubescens* практически полностью представлен корневыми отпрысками, не имеющими перспективы успешного развития и формирования полноценного древостоя [2]. Возможности роста порослевого *Q. pubescens* в данных условиях обеспечиваются мощной корневой системой материнского древостоя, которая, несмотря на его вырубку и последующие многократные рубки пневых вегетативных генераций, еще продолжает функционировать.

Список литературы

1. Вульф Е.В. Флора Крыма // Никит. бот. сад, 1927. Т. 1, вып. 1. 54 с.
2. Коба В.П., Пшеничников Н.А., Нагорняк А.А. Возобновление *Quercus pubescens* Willd. в заповеднике «Мыс Мартьян» // «Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». 2023. Вып. 14. С. 150–156.
3. Кочкин М.А. Почвы, леса и климат горного Крыма и пути их рационального использования. М.: Колос, 1967. 368 с.
4. Меницкий Ю.Д. Дубы Кавказа. Ленинград. Изд-во Наука. 1971. 196 с.
5. Рущук А. Д., Рущук В. С., Чавдарь Н. С. Внутривидовая изменчивость популяции дуба пушистого в заповеднике «Ягорлык». In: Problemele Bio- si Geoecologice al Nistrului de Mijloc si de Jos, 15 noiembrie 2024, Tiraspol. Tiraspol: Eco-TIRAS, 2024, pp. 178-183. ISBN 978-9975-89-320-6. DOI: https://doi.org/10.70739/gbp2024.
6. Солдатов А.Г. Выращивание высокопродуктивных дубрав. М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов. 1983. 176 с.
7. Станкевич В. И. Из лесов горного Крыма. С.-П., 1908. –167 с.
8. Троицкий Н. Д. Дубовые леса Крымского государственного заповедника. М.: Изд-во Главнауки, 1929. – 168 с.
9. Arend, M., Kuster, T., Gu¨nthardt-Goerg, M. S., & Dobbertin, M. Provenance-specific growth responses to drought and air warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pubescens*). Tree Physiology, 2011. 31:287–297.
10. Berta Alen, Tom Levanič, Denis Stojsavljević, and Vladimir Kušan. "Site Index and Volume Growth Percentage Determination for Privately Owned Uneven-aged Stands of Quercus pubescens and Quercus ilex along the Croatian Adriatic Coast." South-east European forestry 10, no. 1 (June 7, 2019): 65–75.
11. Facioni Laura, Sabina Burrascano, Eva Del Vico, Leonardo Rosati, Agnese Tilia, and Carlo Blasi. "Phytosociological analysis of white oak (*Quercus pubescens* s. l.) woodlands and related successional stages: spatial patterns and their drivers." Phytocoenologia 45, no. 4 (December 1, 2015): 325–64.
12. Ripullone Francesco, J. Julio Camarero, Michele Colangelo, and Jordi Voltas. "Variation in the access to deep soil water pools explains tree-to-tree differences in drought-triggered dieback of Mediterranean oaks." Tree Physiology 40, no. 5 (March 3, 2020): 591–604.
13. Santonja Mathieu, Susana Pereira, Thierry Gauquelin, Elodie Quer, Guillaume Simioni, Jean-Marc Limousin, Jean-Marc Ourcival, Ilja M. Reiter, Catherine Fernandez, and Virginie Baldy. "Experimental Precipitation Reduction Slows Down Litter Decomposition but Exhibits Weak to No Effect on Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Three Mediterranean Forests of Southern France." Forests 13, no. 9 (September 14, 2022): 1485.
14. Wellstein Camilla, Spada Francesco The status of Quercus pubescensWilld. In Europe. In: Box, Elgene Owen (Hrsg.): Warm-Temperate Deciduous Forests around the Northern Hemisphere. Cham: Springer, 2015. - pp. 153-163.

References

1. Wolff E.V. Flora Crimea // Nikitu. bot. garden, 1927. T. 1, rev. 1. 54 p.

2. Koba V.P., Pshenichnikov N.A., Nagornyak A.A. Renewal of Quercus pubescens Willd. in the Mys Martyan Nature Reserve // Scientific Notes of the Mys Martyan Nature Reserve. 2023. Issue. 14. - P. 150-156.
3. 7. Kochkin M.A. Soils, Forests and Climate of Mountain Crimea and Ways of Their Rational Use. Moscow: Kolos, 1967. 368 p.
4. Menickij Yu.D. Duby Kavkaza. Leningrad. Izd-vo Nauka. 1971. 196 p.
5. Rushchuk A. D., Rushchuk V. S., Chavdar' N. S. Vnutrividovaya izmenchivost' populyacii duba pushistogo v zapovednike «Yagorlyk». In: Problemele Bio- si Geoecologice al Nistrului de Mijloc si de Jos, 15 noiembrie 2024, Tiraspol. Tiraspol: Eco-TIRAS, 2024, pp. 178-183. ISBN 978-9975-89-320-6. DOI: https://doi.org/10.70739/gbp2024.
6. Soldatov A.G. Vyrashchivanie vysokoproduktivnyh dubrav. M.: Izd-vo sel'skohozyajstvennoj literatury, zhurnalov i plakatov. 1983. 176 p.
7. Stankevich V.I. From the forests of mountain Crimea. St. Petersburg, 1908. 167 p.
8. 15. Troitsky N. D. Oak forests of the Crimean State Nature Reserve. Moscow: Glavnauki Publishing House, 1929. 168 p.
9. 16. Arend, M., Kuster, T., Gu¨nthardt-Goerg, M. S., & Dobbertin, M. Provenance-specific growth responses to drought and air warming in three European oak species (Quercus robur, Q. petraea and Q. pubescens). Tree Physiology, 2011. 31:287–297.
10. 17. Berta Alen, Tom Levanič, Denis Stojsavljević, and Vladimir Kušan. "Site Index and Volume Growth Percentage Determination for Privately Owned Uneven-aged Stands of Quercus pubescens and Quercus ilex along the Croatian Adriatic Coast." South-east European forestry 10, no. 1 (June 7, 2019): 65–75.
11. Facioni Laura, Sabina Burrascano, Eva Del Vico, Leonardo Rosati, Agnese Tilia, and Carlo Blasi. "Phytosociological analysis of white oak (*Quercus pubescens* s. l.) woodlands and related successional stages: spatial patterns and their drivers." Phytocoenologia 45, no. 4 (December 1, 2015): 325–64.
12. Ripullone Francesco, J. Julio Camarero, Michele Colangelo, and Jordi Voltas. "Variation in the access to deep soil water pools explains tree-to-tree differences in drought-triggered dieback of Mediterranean oaks." Tree Physiology 40, no. 5 (March 3, 2020): 591–604.
13. Santonja Mathieu, Susana Pereira, Thierry Gauquelin, Elodie Quer, Guillaume Simioni, Jean-Marc Limousin, Jean-Marc Ourcival, Ilja M. Reiter, Catherine Fernandez, and Virginie Baldy. "Experimental Precipitation Reduction Slows Down Litter Decomposition but Exhibits Weak to No Effect on Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Three Mediterranean Forests of Southern France." Forests 13, no. 9 (September 14, 2022): 1485.
14. Wellstein Camilla, Spada Francesco The status of Quercus pubescensWilld. In Europe. In: Box, Elgene Owen (Hrsg.): Warm-Temperate Deciduous Forests around the Northern Hemisphere. Cham: Springer, 2015. pp. 153-163.

DOI: 10.58168/Forestry2025_60-66
УДК 630 232

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РОСТА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ)

И.К. Козырьков, аспират
А.А. Карбасников, к.с.-х.н., доцент

ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, г. Вологда, с. Молочное, Россия

Аннотация.
Статья посвящена изучению современных тенденций в лесном хозяйстве, связанных с повышением эффективности методов создания лесных культур путем использования посадочного материала с разными типами корневых систем. Рассматриваются преимущества закрытых корневых систем (ЗКС) в сравнении с открытыми (ОКС), подчеркивается их положительное влияние на приживаемость и скорость роста лесных культур. Экспериментально подтверждено, что лесные культуры с ЗКС, превосходит аналогичные посадки с ОКС по таким важным показателям, как высота растений и диаметр корневой шейки. Лесные культуры, сформированные сеянцами с закрытой корневой системой, обладают лучшими характеристиками по росту и сохранности, обладая повышенной жизнеспособностью и способностью легко переносить негативные факторы среды. Лесные культуры с закрытой корневой системой предпочтительнее применять для ускорения роста и повышения экономической эффективности лесовосстановления, а потому эта технология должна стать ведущим направлением современного лесного хозяйства.

Ключевые слова: посадочный материал с открытой и закрытой корневой системой, лесные культуры, сеянец, ель обыкновенная.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE GROWTH OF EUROPEAN SPRUCE FOREST CULTURES (IN THE EXAMPLE OF VOLOGDA REGION)

I.K. Kozyrkov, *postgraduate student*
A.A. Karbasnikov, *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*
Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Russia

Abstract. The article is devoted to studying modern trends in forestry related to improving the efficiency of forest culture creation methods through the use of planting material with different types of root systems. The advantages of closed root systems (CRS) compared to open ones (ORS) are discussed, emphasizing their positive impact on survival and growth rates of forest cultures. Experimental data confirm that forest cultures created using CRS outperform those established with ORS in important parameters such as plant height and diameter at the root collar. Forest cultures formed from seedlings with a closed root system exhibit better characteristics for growth and conservation, demonstrating higher vitality and ability to easily tolerate adverse environmental factors. Therefore, it is recommended to prioritize the application of closed-root-system-based forest cultures to accelerate growth and enhance economic efficiency of reforestation efforts, making this technology a leading direction in contemporary forestry.

Keywords: planting material with open and closed root system, forest crops, seedling, common spruce.

© Козырьков И. К., Карбасников А. А., 2025

Современные тенденции лесного хозяйства требуют повышения эффективности методов создания лесных культур, включая использование сеянцевс различными типами корневых систем. Применение оптимальных технологий позволяет сократить сроки восстановления лесонасаждений после вырубок, способствуя устойчивому развитию лесной отрасли. Выбор качественного посадочного материала является ключевым фактором успешного формирования и эффективного функционирования искусственных лесных насаждений.

В настоящее время приоритетным направлением считается выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) и использование его для создания лесных культур. Такой способ получения сеянцев является наиболее перспективным, поскольку позволяет создавать благоприятные условия микроклимата и осуществлять посадку в течение всего безморозного периода года. Это обеспечивает высокий уровень приживаемости культур [1,2].

Высококачественный посадочный материал обеспечивает ускоренный рост и развитие лесных культур, сокращает период достижения ими товарной зрелости и повышает рентабельность лесохозяйственных мероприятий. Учеными доказано [3,4,5], что сеянцы с закрытой коревой системой обладают повышенной жизнеспособностью и адаптивностью к условиям среды обитания, что снижает риск гибели молодых растений и минимизирует негативное воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды.

Сравнительная оценка роста и развития лесных культур ели с открытой и закрытой корневой системой представляет собой важную научную проблему, решение которой имеет большое практическое значение для устойчивого управления лесными ресурсами.

Цель работы заключается в оценке показателей сохранности и роста сеянцев с закрытой и открытой корневой системой в лесных культурах различного возраста.

Для оценки таксационных характеристик леса были заложены временные пробные площади. Их размещали на участках с однородными условиями, схожим составом, возрастом и полнотой древостоя. Площадь участка определялась исходя из количества посадочных мест, которого должно быть не менее 500 шт. в лесных культурах. Разбивка пробных площадей осуществлялась с применением буссоли и рулетки.

У каждого растения измеряли высоту, годовой прирост главного побега в высоту и диаметр у корневой шейки. Для измерения высоты использовали металлическую линейку, для измерения диаметра корневой шейки использовался штангенциркуль [6].

В процессе камеральной обработки, данные, полученные в ходе экспериментов по различным показателям, были обработаны с применением методов описательной статистики с последующим анализом. Математическая и статистическая обработка результатов осуществлялась на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ, включая Microsoft Excel.

В качестве объектов для проведения исследования выбраны участки лесных культур находятся в Верхне-Раменском участковом лесничестве Усть-Кубинского государственного лесничества Вологодской области, относящемся к Южно-таежному району европейской части Российской Федерации в квартале 52, на лесосеках 2020 и 2021 года рубки.

Лесокультурные площади представлены свежими вырубками, пройденными одной и той же технологией заготовки древесины с использованием многооперационной лесозаготовительной техники. Рубки осуществлялись в летний период.

На всех участках были созданы лесные культуры разным посадочным материалам и в разные годы. При назначении такого вида работ руководствовались правилами лесовостановления [7]. Количество сохранившегося подроста до рубки, а также после нее, составляло менее 1 тыс. шт. на га, что и было основной причиной проектирования искусственного лесовосстановления.

На первом участке лесные культуры созданы однолетними сеянцами с ЗКС, на втором и третьем участке также были посажены однолетние сеянцы, но с ОКС. Для сравнения взяты участки, где использованы 2-летние сеянцы: на четвертом с ОКС, на пятом и шестом с ЗКС. Подробная характеристика создания лесных культур приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика лесных культур

№ участка	Вид посадочного материала	Густота посадки, шт./га	Расстояние, м		Способ создания
			в ряду	между рядами	
1	сеянцы ЗКС, 1-летние	2299	0,87	5,0	посадкой в пласт
2	сеянцы ОКС, 2-летние	3267	0,51	6,0	посадкой в пласт
3	сеянцы ОКС, 2-летние	3310	0,53	5,7	посадкой в пласт
4	сеянцы ОКС, 2-летние	3025	0,57	5,8	посадкой в пласт
5	сеянцы ЗКС, 1-летние	2489	1,03	3,9	посадкой в пласт
6	сеянцы ЗКС, 1- летние	2195	0,67	6,8	посадкой в пласт

Созданные лесные культуры ели европейской находятся в однотипных условиях местопроизрастания. При их создании использовалась одна и та же технология подготовки почвы, а, следовательно, участки отличаются только видом посадочного материала. Все это и послужило основанием для проведения наших исследований.

В ходе лесоводственной оценки определено текущее состояние искусственно созданных насаждений, их сохранность и биометрические показатели. Благодаря определению данных параметров выполнена оценка соответствия лесных культур поставленным целям и требованиям.

Сохранность лесных культур является одним из ключевых показателей их оценки [8]. Для ее определения, на каждом участке, при перечете отмечалось жизненное состояние сеянцев. Сравнительные результаты приведены на рис. 1-2.

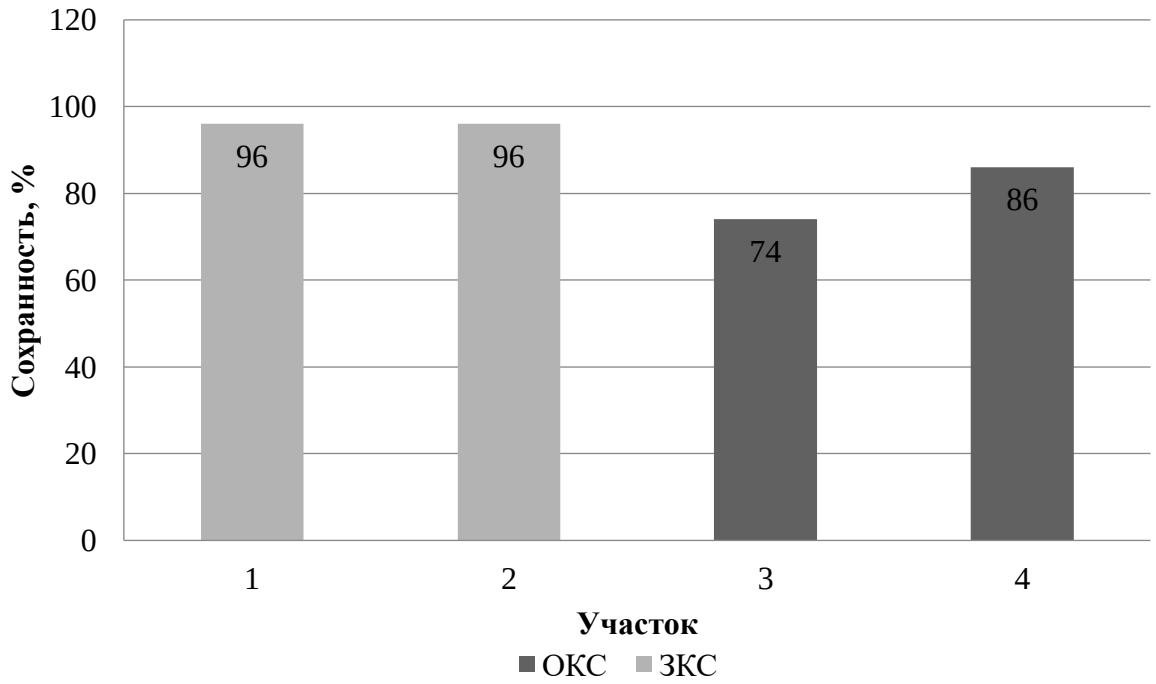


Рисунок 1 – Сохранность 1-летних лесных культур ели

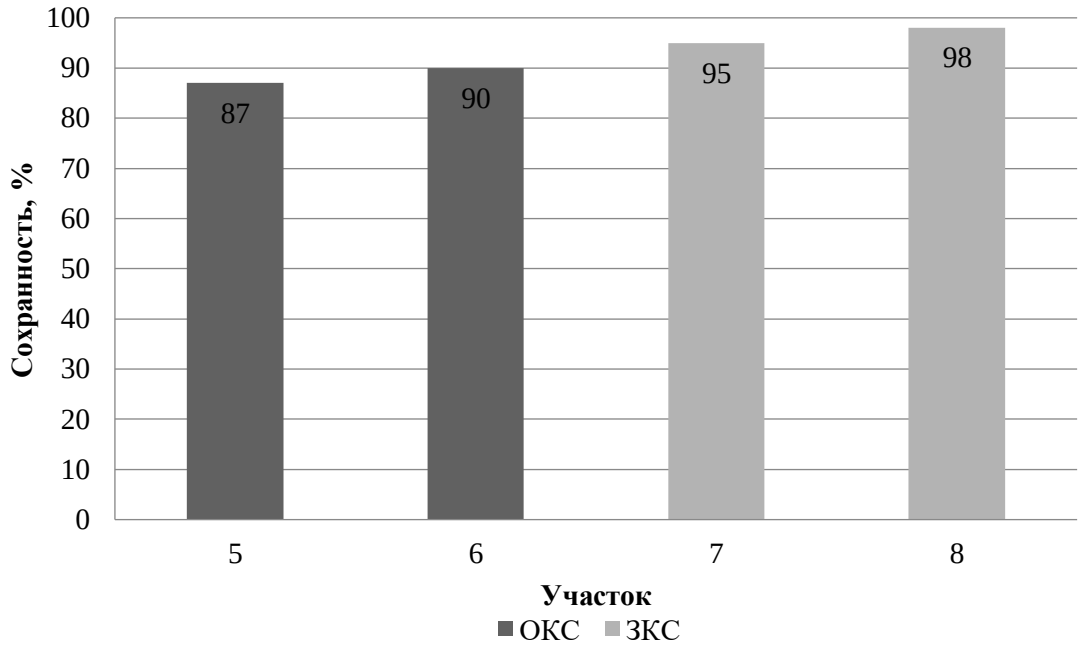


Рисунок 2 – Сохранность 2-летних лесных культур ели

Сохранность 1-летних лесных культур, созданных сеянцами с ЗКС, составила 96%, что выше, чем на участках, созданных сеянцами с ОКС на 10-12%. Аналогичные результаты получены и для 2-летних лесокультурных площадей. Сохранность на участках, созданных сеянцами с ЗКС на больше, чем на участках с ОКС на 5-11%.

Рост лесных культур оценивали по биометрическим показателям, поскольку они отражают количественную сторону процессов жизнедеятельности растений и наглядно демонстрируют степень адаптации растений [8]. Результаты этой оценки по вариантам приведены в табл. 1. и табл. 2.

Таблица 2 – Биометрические показатели сеянцев с закрытой корневой системой

№ участка	Показатель	Среднее значение	Ошибка ср. значения	Среднеквадратичное отклонение	Достоверность среднего значения	Точность опыта, %	Коэф. изменчивости, %
1-летние лесные культуры							
1	Диаметр корневой шейки, мм	2,85	±0,03	0,68	23,9	1,1	95,0
	Высота, см	16,6	±0,16	3,69	22,2	1,0	103,8
2	Диаметр корневой шейки, мм	2,86	±0,03	0,70	24,5	1,0	95,3
	Высота, см	16,6	±0,17	3,81	23,0	1,0	97,6
Ср. значение	Диаметр корневой шейки, мм	2,86	±0,02	0,69	24,1	0,7	143,0
	Высота, см	16,6	±0,12	3,75	22,6	0,7	138,2
2-летние лесные культуры							
7	Диаметр корневой шейки, мм	4,08	±0,05	1,24	30,4	1,2	81,6
	Высота, см	26,5	±0,29	6,97	26,3	1,1	91,4

8	Диаметр корневой шейки, мм	4,21	±0,07	1,56	37,1	1,7	60,1
	Высота, см	28,1	±0,32	7,52	26,8	1,1	87,8
Ср. значение	Диаметр корневой шейки, мм	4,15	±0,04	1,41	34,0	1,0	103,8
	Высота, см	27,3	±0,22	7,29	26,7	0,8	124,0

Для однолетних культур с ЗКС характерны небольшие размеры (16,6 см) и значительные колебания показателей (особенно коэффициента вариации), что объясняется ранним этапом роста и влиянием множества факторов внешней среды. Двухлетние лесные культуры показывают заметное увеличение средних размеров (примерно на 40%) и снижение вариабельности, особенно по диаметру корневой шейки. Это обусловлено биологическими особенностями растений и завершению послеосадочной депрессии.

Таблица 3 – Биометрические показатели сеянцев с открытой корневой системой

№ участка	Показатель	Среднее значение	Ошибка ср. значения	Среднеквадратичное отклонение	Достоверность среднего значения	Точность опыта, %	Коэф. изменчивости, %
1-летние лесные культуры							
3	Диаметр корневой шейки, мм	2,85	±0,03	0,78	27,4	1,1	95,0
	Высота, см	12,6	±0,17	3,84	30,5	1,3	74,1
4	Диаметр корневой шейки, мм	2,88	±0,04	0,83	28,8	1,4	72,0
	Высота, см	13,6	±0,19	4,37	32,1	1,4	71,6
Ср. значение	Диаметр корневой шейки, мм	2,87	±0,02	0,81	28,2	0,7	143,5
	Высота, см	13,2	±0,13	4,08	31,1	1,0	101,1
2-летние лесные культуры							
5	Диаметр корневой шейки, мм	3,76	±0,07	1,60	42,6	1,9	53,7
	Высота, см	16,5	±0,19	4,64	28,1	1,2	86,8
6	Диаметр корневой шейки, мм	3,98	±0,07	1,69	42,5	1,8	56,9
	Высота, см	15,0	±0,19	4,27	28,5	1,3	78,9
Ср. значение	Диаметр корневой шейки, мм	3,87	±0,05	1,65	42,6	1,3	77,4
	Высота, см	15,8	±0,14	4,52	28,6	0,9	112,7

1.

2. Однолетние лесные культуры, созданные сеянцами с ОКС, отличаются значительной неравномерностью в росте и имеют большой разброс по основным параметрам (особенно по высоте). Двухлетние лесные культуры демонстрируют более стабильные показатели роста, однако сохраняют существенные индивидуальные отличия. Диаметр корневой шейки увеличивается практически в полтора раза по сравнению с однолетними культурами. Рост растений более равномерный.

Установлено, что средняя высота лесных культур ели европейской, созданных в 2022 году посадочным материалом с закрытой корневой системой (ЗКС), составила 27,3 см, а созданных в

2023 году — 16,6 см. Высота лесных культур ели, созданных посадочным материалом с открытой корневой системой (ОКС), в посадке 2022 года равна 15,8 см, а в посадке 2023 года — 13,1 см.

Наилучшие результаты роста продемонстрировали лесные культуры, созданные в черничном типе условий местопроизрастания, где лесовосстановление выполнялось сеянцами с закрытой корневой системой. Их высота превышает высоту культур на остальных участках на 20–42%. Такие результаты объясняются видом посадочного материала и качеством агрофона лесокультурных площадей.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы. Лесные культуры, созданные сеянцами с закрытой корневой системой, демонстрируют статистически значимое превосходство по высоте стволиков над культурами, созданными с открытой корневой системой, на всех исследованных участках.

Диаметр корневой шейки однолетних культур ели не имеет выраженных различий между растениями с закрытой и открытой корневой системой. Однако среди двухлетних растений отмечено увеличение диаметра корневой шейки на 9,3% у образцов с закрытой корневой системой.

Это свидетельствует о том, что культуры с закрытой корневой системой легче переносят послепосадочную депрессию, что в ближайшей перспективе дает им значительное преимущество перед культурами, созданными с открытой корневой системой.

Список литературы

1. Бабич Н.А., Гаевский Н.П., Конюшатов О.А. Культуры ели Вологодской области. – Архангельск: ОД ЭЛПА, 2000. – 160 с.
2. Кирьянова В.С., Васильева Д.А. Оценка роста опытных лесных культур ели в дендрологическом саду Вологодской ГМХА// Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. Сборник научных трудов по результатам работы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - Вологда-Молочное, 2021. - С. 225-230.
3. Карбасникова Е.Б., Карбасников А.А., Кирьянова В.С. Сравнительная характеристика лесных культур, созданных различными методами // Проблемы и мониторинг природных экосистем. Сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции, 2020. - С. 69-72.
4. Карбасникова Е.Б., Хайдукова И.А. Оценка результатов создания лесных культур ели европейской посадочным материалом с закрытой и открытой корневой системой в Вологодской области // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. Сборник трудов по материалам научно-практической конференции, 2019. - С. 43-45.
5. Попов Н.В., Шайкин Е.С. Сравнительная характеристика лесных культур, созданных по различным технологиям // Практические аспекты ведения хозяйства и использования лесов, 2023. - С. 84-87.
6. Методология исследований лесных экосистем: Методическое пособие / Сост. Е.Н. Пилипко. – Вологда-Молочное: ИЦ ВГМХА, 2013. – 100 с.
7. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4 декабря 2020 г. № 1014 "Об утверждении правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений" Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». Url.: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983471/
8. Залесов С.В., Оплетаев А.С., Залесова Е.С., Бунькова Н.П. Производительность искусственных насаждений в северолесостепном лесорастительном округе Свердловской области. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 2015. – 70 с.

References

1. Babich N.A., Gaevskij N.P., Konyushatov O.A. Kul`tury` eli Vologodskoj oblasti [Spruce cultures of the Vologda region]. – Arxangel`sk: OD E`LPA, 2000. – 160 p.

2. Kir`yanova V.S., Vasil`eva D.A. Ocenka rosta opy`tny`x lesny`x kul`tur eli v dendrologicheskom sadu Vologodskoj GMXA [Evaluation of the growth of experimental spruce cultures in the dendrological garden of the Vologda State Dairy Farming Academy]// Molody`e issledovateli agropromy`shlennogo i lesnogo kompleksov – regionam. Sbornik nauchny`x trudov po rezul`tatam raboty` VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem. - Vologda-Molochnoe, 2021. - P. 225-230.

3. Karbasnikova E.B., Karbasnikov A.A., Kir`yanova V.S. Sravnitel`naya xarakteristika lesny`x kul`tur sozdanny`x razlichny`mi metodami [Comparative characteristics of forest crops created using different methods]// Problemy` i monitoring prirodny`x e`kosistem. Sbornik statej VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 2020. - S. 69-72.

4. Karbasnikova E.B., Xajdukova I.A. Ocenka rezul`tatov sozdaniya lesny`x kul`tur eli evropejskoj posadochny`m materialom s zakry`toj i otkry`toj kornevoj sistemoj v Vologodskoj oblasti [Evaluation of the results of creating European spruce forest cultures using planting material with closed and open root systems in the Vologda Region] // Molody`e issledovateli agropromy`shlennogo i lesnogo kompleksov – regionam. Sbornik trudov po materialam nauchno-prakticheskoj konferencii, 2019. - P. 43-45.

5. Popov N.V., Shajkin E.S. Sravnitel`naya xarakteristika lesny`x kul`tur, sozdanny`x po razlichny`m texnologiyam [Comparative characteristics of forest crops created using different technologies] / Prakticheskie aspekty` vedeniya xozyajstva i ispol`zovaniya lesov, 2023. - S. 84-87.

6. Metodologiya issledovanij lesny`x e`kosistem: Metodicheskoe posobie [Methodology for studying forest ecosystems] / Sost. E.N. Pilipko. – Vologda-Molochnoe: ICz VGMXA, 2013. – 100 p.

7. Prikaz Ministerstva prirodny`x resursov i e`kologii RF ot 4 dekabrya 2020 g. № 1014 Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, sostava proekta lesovosstanovleniya, poryadka razrabotki proekta lesovosstanovleniya i vneseniya v nego izmenenij Dostup iz sprav. -pravovoj sistemy` «Garant». Url.: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74983471/

8. Zalesov S.V., Opletaev A.S., Zalesova E.S., Bun`kova N.P. Proizvoditel`nost` iskusstvenny`x nasazhdenij v severolesostepnom lesorastitel`nom okruge Sverdlovskoj oblasti [Productivity of artificial plantations in the North Forest-Steppe Forest-growing District of the Sverdlovsk Region]. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotexn. akad., 2015. – 70 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_67-73
УДК 630 232

ОСОБЕННОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В ЗАДОНСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

П.А. Кудинов[1], М.П. Чернышов[2]

[1] Магистрант Лесного факультета *ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия*
[2] Д. с. - х. н., профессор кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства *ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия*

Аннотация. Изучение региональных лесоводственных и технологических особенностей искусственного лесовосстановления имеет для малолесных регионов важное научное и практическое значение. От применяемых в лесничествах методов, способов и технологий лесовосстановления зависит судьба лесов будущего, их породный состав, состояние, биологическое разнообразие, производительность, товарность, устойчивость и долговечность. В статье приводится анализ приживаемости сеянцев сосны с открытой (ОКС) и закрытой корневой системой (ЗКС) на 4-х производственных участках лесных культур и их сохранности в 3-летнем возрасте. По итогам осенней инвентаризации установлено, что на всех участках созданных лесных культур приживаемость сеянцев сосны с ОКС превышает приживаемость сеянцев с ЗКС. Их последующая сохранность демонстрирует аналогичные тенденции.

Ключевые слова: искусственное лесовосстановление, сеянцы сосны с открытой и закрытой корневой системой, приживаемость, сохранность лесных культур.

FEATURES OF ARTIFICIAL REFORESTATION IN ZADONSKY FORESTRY OF LIPETSK REGION

P.A. Kudinov[1], M.P. Chernyshov[2]

[1] *Master's student of the Forestry Faculty of the Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, Voronezh*
[2] *D. s. - x. n., Professor of the Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management FSBEI HE " Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh*

Abstract. The study of regional forestry and technological features of artificial reforestation has important scientific and practical significance for sparsely wooded regions. The fate of the forests of the future, their species composition, condition, biological diversity, productivity, marketability, sustainability and durability depend on the methods, methods and technologies of reforestation used in forestry. The article provides an analysis of the survival rate of pine seedlings with open (ACS) and closed root systems (WCS) on 4 production sites of forest crops and their preservation at the age of 3 years. According to the results of the autumn inventory, it was found that in all areas of the created forest crops, the survival rate of pine seedlings with ACS exceeds the survival rate of seedlings with WCS. Their subsequent preservation demonstrates similar trends.

© Кудинов П. А., Чернышов М. П.,2025

Keywords: artificial reforestation, pine seedlings with open and closed root systems, survivability, preservation of forest crops.

Введение. Актуальность исследований обусловлена возрастающей потребностью в разработке и внедрении эффективных методов искусственного лесовосстановления, особенно в малолесных регионах с интенсивной антропогенной нагрузкой на лесные экосистемы. В Липецкой области [1, 2], где значительные площади лесных насаждений подвержены деградации из-за лесных пожаров, болезней и вредителей, поиск оптимальных технологий выращивания устойчивых и высокопродуктивных лесных культур приобретает особую значимость.

В соответствие с существующим лесорастительным районированием Задонское лесничество Липецкой области расположено в лесостепном лесном районе лесостепной лесорастительной зоны Европейской части Российской Федерации [3], а все леса на его территории являются защитными, выполняющими преимущественно экологические функции. Климат умеренно континентальный с чётко выраженной сезонностью.

Среднегодовая температура колеблется в пределах +5...+6° С, при этом средняя температура июля достигает +19...+21° С, а в январе опускается до -9-10° С. Годовое количество осадков незначительное и составляет 450-550 мм.

Анализ истории лесовосстановления в Липецкой области позволяет сделать вывод о том, что оно прошло сложный путь, отражающий экономические, экологические и социальные изменения в регионе. Исторически лесные массивы активно вырубались для сельского хозяйства и промышленности, но уже в дореволюционный период начались первые попытки искусственного восстановления лесов помещиками и монастырями. В советский период лесовосстановление стало частью государственной политики, включая масштабные проекты, направленные на борьбу с эрозией и засухой. Однако в постсоветские годы из-за экономического кризиса объёмы лесовосстановления резко сократились, а незаконные вырубки и деградация лесов усилились. С 2000-х годов ситуация улучшилась благодаря федеральным программам, внедрению современных технологий и усилению контроля за вырубками.

В настоящее время лесовосстановление проводится лицами, осуществляющими рубки лесных насаждений в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации [5], за исключением случаев, предусмотренных частями 2 и 4 статьи 29.1, статьей 30 и частью 4.1 статьи 32 Лесного кодекса Российской Федерации. Лесовосстановление проводится в соответствии с Проектом лесовосстановления, который разрабатывается в соответствии со статьей 89.1 Лесного кодекса Российской Федерации ив соответствие с действующими «Правилами лесовосстановления .....» [4].

Несмотря на вызовы Липецкая область продолжает развивать систему лесовосстановления, сочетая традиционные подходы с инновационными решениями. Это позволяет не только восполнять ранее утраченные леса, но и укреплять экологическую устойчивость региона, что особенно важно для сельского и лесного хозяйств и защиты почв от эрозии. Таким образом, лесовосстановление в Липецкой области остаётся ключевым элементом экологической и экономической политики, направленной на сохранение природных ресурсов и обеспечение устойчивого развития региона.

Гипотеза исследований. Производственный опыт искусственного лесовосстановления в последние 10 лет в условиях Задонского лесничества свидетельствует, что сеянцы сосны обыкновенной с открытой корневой системой (ОКС) демонстрируют более высокую приживаемость по сравнению с закрытой корневой системой (ЗКС). При этом сомкнувшиеся лесные культуры, созданные сеянцами сосны с ОКС характеризуются более высокой сохранностью и устойчивым иммунитетом к неблагоприятным факторам среды.

Цель исследований. Выяснить причины такой ситуации, сложившейся не только в Задонском, но и в смежном Елецком лесничестве Липецкой области.

Материалы и методы. При проведении исследований применяли следующие методы:

- закладка пробных площадей для учёта жизнеспособных сеянцев на 1-ом и 3-ем годах жизни после посадки с регистрацией данных в полевых карточках и актах обследования (осенняя инвентаризация);

- обработка полученных на пробных площадях данных о приживаемости и сохранности лесных культур с применением методов статистического анализа и расчёта средневзвешенных величин.

Особенности технологий создания лесных культур. На вырубках, подлежащих лесовосстановлению, применялась предварительная частичная осенняя (реже весенняя) обработка почвы путём нарезки борозд плугом ПКЛ-70 в агрегате с трактором МТЗ-82. Весной производилась ручная посадка сеянцев сосны с ОКС под меч Колесова. Необходимо отметить, что применение посадочной трубы для посадки сеянцев с ЗКС было признано нецелесообразным в связи с природными особенностями почвенно-грунтовых условий (слабооподзоленные малоплодородные супесчаные почвы с высокой плотностью поверхностного слоя), что могло привести к повреждению корневого кома и снижению приживаемости растений с ЗКС, а механизированная посадка не рассматривалась в связи с тем, что создание лесных культур осуществлялось на вырубках, с количеством пней более 1,1 тыс. шт. на 1 га.

Согласно утверждённым «Проектам искусственного лесовосстановления» схема посадки лесных культур была следующей: расстояние между рядами 3 м, в рядах - 1,33 м, а густота - 2,5 тыс. шт./га. Культуры создавались чистыми по составу рядами - С-С-С-С-С-С-С. Однолетние сеянцы сосны обыкновенной с ЗКС выращены из нормальных семян первого класса в торфяном субстрате в кассетах в теплицах и на площадках доращивания Новоусманского филиала СГБУ ВО «Воронежский лесосеменной центр», заготовленных в Рамонском участковом лесничестве Воронежского лесничества Воронежской области (квартал 133, выдел 1).

При искусственном лесовосстановлении на исследуемых участках вырубок использовался посадочный материал собственного производства, выращенный ГАУ «Задонский лесхоз» в лесном питомнике, расположенном в Задонском лесничестве, Октябрьском участковом лесничестве, квартале 96, выдел 14, площадью 9,0 га и сеянцы с ЗКС из Воронежского лесного селекционного центра (рисунок 1). Стандартные 2- летние сеянцы с открытой корневой системой, были выращены в открытом грунте из местных нормальных семян 2 класса качества, заготовленных в прилегающих приспевающих сосняках Усманского бора.

Результаты исследований. Структура распределения искусственного лесовосстановления в Задонском лесничестве по породам и годам представлена на рисунке 3.

Сведения, характеризующие приживаемость 2-летних местных сеянцев с ОКС и приобретённых в Воронежском лесном селекционном центре 1-летних сеянцев с ЗКС, приведены в таблице 1**.**

Из данных таблицы 1 видно, что на всех четырёх опытных участках лесных культур, созданных посадкой сеянцев сосны с ОКС, приживаемость и сохранность выше, чем у лесных культур, созданных с использованием сеянцев с ЗКС.

Эту ситуацию с результатами использования при искусственном лесовосстановлении сеянцев с ОКС и ЗКС можно объяснить тем, что:

во-первых, 2-летние сеянцы сосны с ОКС и 1-летние сеянцы с ЗКС из-за их разного биологического возраста и режимов выращивания имеют разные физические параметры надземной и подземной частей (высота, толщина корневой шейки и длина корней).

- во-вторых, объем кома субстрата у сеянцев с ЗКС, состоящего преимущественно из торфа с добавлением перлита и песка, является не достаточным (рисунок 2) для обеспечения их должной жизнеспособности в новых, более суровых природно-климатических условиях без периодического полива, как это осуществлялось в теплицах и на площадках закаливания.

Рисунок 1 - Посадка сеянцев сосны обыкновенной с ОКС под меч Колесова (слева) и сеянцев с ЗКС при помощи посадочной трубы (справа)

Рисунок 2 - Использованные при создании лесных культур сосны обыкновенной 1-летние сеянцы с ЗКС, давшие новый прирост в высоту

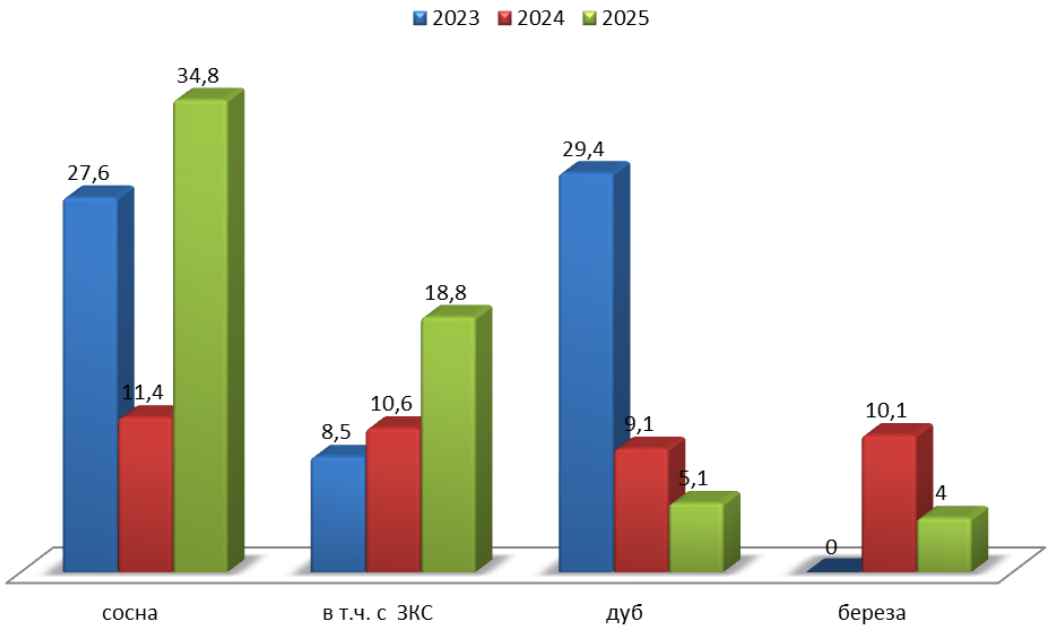


Рисунок 3 – Структура распределения искусственного лесовосстановления в Задонском лесничестве

Таблица 1 – Сведения о фактической приживаемости и сохранности сеянцев с ОКС и ЗКС на закультивированных опытных участках вырубок за 2023-2025 гг.

№ опытного участка	Площадь участка, га	Площадь пробы, га	Вид посадочного материала	Количество высаженных растений, шт./га	Результаты инвентаризации после первого года жизни			Результаты инвентаризации после третьего года жизни		
					Количество, шт/га		Приживае-мость, %	Количество, шт/га		Сохран-ность, %
					сохр.	погиб.		сохр.	погиб.	
№ 1	2,8	0,05	ЗКС	2500	2120	380	84,8	1760	740	70,4
№ 2	2,7	0,05	ЗКС	2500	2040	460	81,6	1420	1060	56,8
№ 3	1,5	0,075	ЗКС	2500	1653	853	66,1	1493	1013	59,7
№ 4	1,5	0,075	ЗКС	2500	1733	773	69,3	1573	933	62,9
Итого	**8,5**						**77,7**			**62,9**
№ 5	1,0	0,05	ОКС	4500	3960	540	88,0	3880	620	86,2
№ 6	2,1	0,1050	ОКС	4500	3923	581	87,1	3800	705	84,4
№ 7	3,4	0,1350	ОКС	4500	4089	474	90,9	3948	593	87,7
№ 8	1,0	0,05	ОКС	4500	4100	400	91,1	3860	640	85,8
Итого	**7,5**						**89,5**			**86,3**
Всего:	**16,0**						**83,2**			**73,9**

- в-третьих, сразу после высадки сеянцев с ЗКС на лесокультурную площадь они испытывают острый почвенно-климатический стресс, в результате которого становятся не способными за короткое время увеличить массу и количество сосущих корней, в том числе и из-за отсутствия тесного естественного соприкосновения стенок легко высыхающего кома субстрата с малоплодородной песчаной почвой. В результате высыхания объем кома из-за уменьшается и образуется воздушный зазор между ним и почвой, препятствующий нормальному росту корней (аналогично «эффекту воздушной подрезки корней»).

В-четвёртых, при длительном отсутствии выпадающих осадков, ком субстрата, пронизанный многочисленными мелкими корнями и являющийся мало гигроскопичным (не способным удерживать долгое время почвенную влагу), быстро иссушается, в результате чего окончания корней засыхают и перестают снабжать сеянцы питательными веществами.

В-пятых, у сеянцев с ОКС корни длиннее и заделываются они на большую глубину и с более плотным прижиманием к стенкам посадочной щели естественной влажности.

Выявленные особенности искусственного лесовостановления на вырубках Задонского лесничества необходимо учитывать и в других смежных лесничествах Липецкой области.

С учётом затрат на приобретение посадочного материала, доведённым до ГАУ «Задонское лесничество» на 2023 год и плановый период 2024-2025 гг., сформировались следующие размеры платы за создание 1 га лесных культур:

- путём посадки сеянцев с ЗКС – 72,73 тыс. руб.;
- путём посадки сеянцев с ОКС – 46,48 тыс. руб.

Считаем, что в сложившихся условиях превышение платы за сеянцы с ЗКС на 26 тыс. руб./га целесообразнее использовать на последующие агротехнические и лесоводственные уходы за лесными культурами.

Заключение

Исследования по использованию сеянцев с ОКС и ЗКС при лесовосстановлении на свежих вырубках Задонского лесничества позволяют сделать следующие выводы.

Выявленные особенности искусственного лесовостановления на вырубках Задонского лесничества Липецкой области свидетельствуют о целесообразности использования при создании лесных культур сосны обыкновенной на свежих вырубках местных сеянцев с ОКС. Сеянцы с ЗКС характеризуются меньшей приживаемостью и сохранностью.

Кроме того установлено, что приобретаемые в Новоусманском филиале СГБУ ВО «Воронежский лесосеменной селекционный центр» сеянцы с ЗКС дороже местных сеянцев с ОКС более чем в 6 раз, что обусловлено более сложной материало- и энергоёмкой технологией их выращивания, а также себестоимостью контейнеров, субстрата (торф, перлит и песок), удобрений, средств защиты от вредных организмов и услуг по доставке сеянцев потребителю. Разница в 3,5 раза в установленных расценках на выполнение работ по искусственному лесовосстановлению подтверждает, что использование сеянцев с ОКС остаётся значительно более экономичным вариантом при прочих равных условиях.

Список литературы

1. Лесной план Липецкой области. URL: http://leslipetsk.ru/ page_id=147 (дата обращения: 05.07.2025 г.).

2. Лесохозяйственный регламент Задонского лесничества. URL: http://leslipetsk.ru/?page_id=147 (дата обращения: 05.07.2025 г.).

3. Приказ Минприроды России «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» от 18 августа 2014 г. № 367. URL: http://rosleshoz.gov.ru.

4. Приказ Минприроды России «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его

согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления» от 29.12.2021 г. №1024. URL: http://rosleshoz.gov.ru.

5. Федеральный закон «Лесной кодекс Российской Федерации» от 9 декабря 2006 г. №200-ФЗ. URL: http://rosleshoz.gov.ru.

References

1. Forest plan of the Lipetsk region. URL: http://leslipetsk.ru / page_id=147 (date of reference: 07/05/2025).

2. Forestry regulations of the Zadonsky forestry district. URL: http://leslipetsk.ru/?page_id=147 (date of application: 07/05/2025).

3. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation «On approval of the List of forest-growing zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation» dated August 18, 2014 No. 367. URL: http://rosleshoz.gov.ru.

4. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation «On approval of the Rules of reforestation, the form, composition, procedure for approving the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic form of the reforestation project» dated 12/29/2021 №1024. URL: http://rosleshoz.gov.ru.

5. Federal Law No. 200-FZ «Forest Code of the Russian Federation» dated December 9, 2006. URL: http://rosleshoz.gov.ru.

DOI: 10.58168/Forestry2025_74-79
УДК 630 174.754:582.475

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДАПТАЦИИ СОСНЫ ОБЫНОВЕННОЙ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В СИБИРИ

С.Р. Кузьмин[1], Н.А. Кузьмина[2]

[1]д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории лесной генетики и селекции,
[2]к.б.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории лесной генетики и селекции,
Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия

Аннотация. В ходе исследований географических культур сосны обыкновенной в южной тайге Красноярского края выявлены популяции, успешно адаптирующиеся к условиям песчаной почвы в Средней Сибири. Отклонение отдельных климатипов от общей тенденции зависимости средней высоты или диаметра от факторов места происхождения объясняется разной адаптационной способностью климатипов. Доля прямоствольных деревьев является более универсальным признаком, чем высота и диаметр дерева, который комплексно может свидетельствовать об успешности отклика как на биотические и абиотические факторы в пункте испытания.

Ключевые слова: географические культуры, средняя высота и диаметр дерева, прямоствольность, климат, адаптация, перемещение семян.

MAIN ADAPTATION TRENDS OF SCOTS PINE FROM DIFFERENT PROVENANCES IN SIBERIA

S.R. Kuzmin[1], N.A. Kuzmina[2]

[1]Doctorof Biological Sciences, Principal Researcher of Forest Genetics and Breeding Laboratory,
[2]Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of Forest Genetics and Breeding Laboratory,
Sukachev Institute of Forest SB RAS – separate division of FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The research of provenance trial in the southern taiga of the Krasnoyarsk krai make it possible to identify populations that successfully adapt to the sandy soil conditions in Central Siberia. The deviation of individual climatypes from the general trend of dependence of average height or diameter on factors of origin is explained by climatype's different adaptive capacity. The proportion of straight-stemmed trees is a more universal feature. Compared to height and diameter, it can comprehensively indicate the success of the response to both biotic and abiotic factors at the test site.

Keywords: provenance trial, mean tree height and diameter, straight-stemmed trees, climate, adaptation, seed transfer.

© Кузьмин С. Р., Кузьмина Н. А., 2025

Введение

Интенсивное развитие Нижнего Приангарья, связанное с созданием крупных лесоперерабатывающих комбинатов, строительством Богучанской ГЭС, алюминиевого завода, поиском и добычей различных полезных ископаемых приводит к постепенному сокращению лесопокрытой площади на территории Сибири. Успешное использование семян популяций, которые являются местными, а значит наиболее адаптированными к условиям южной тайги в Сибири не всегда может быть осуществлено на практике по ряду причин. Локальные условия выращивания оказывают критически важное значение на сохранность и продуктивность культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestirs* L.). Разница в продуктивности древостоев на суглинистой и песчаной почвах является значительной. Сосна обыкновенная на песчаных почвах гораздо уязвимее к засушливым климатическим условиям, которые возникают в условиях потепления климата. Именно сосновые участки на песчаных почвах из-за лучшей транспортной доступности, так как приурочены к надпойменным террасам реки Ангары, испытывают сильную антропогенную нагрузку, которая сопряжена с повышенным риском возникновения пожаров и вырубкой леса для развития инфраструктуры ближайших населенных пунктов и промышленных объектов.

В этой связи оценка адаптационных способностей потомств различных популяций в географических культурах сосны обыкновенной, созданных в условиях песчаной почвы, позволяет на основе научных фундаментальных исследований выявлять перспективные для лесовосстановления популяции. Оценка закономерностей высоты и диаметра деревьев и доли прямоствольных деревьев у потомства 83 популяций сосны обыкновенной от ряда климатогеографических параметров исходных популяций, а также анализ дифференциации отельных популяций является целью данного исследования.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются географические культуры сосны обыкновенной, созданные в 1977 г. в Богучанском районе Красноярского края в условиях песчаной почвы из потомства 83 популяций, далее называемых климатипами. Измерение высоты деревьев проводили с помощью ультразвукового высотомера Vertex IV (Haglof, Швеция), измерение диаметра дерева проводили мерной вилкой на высоте 1.3 м. К прямоствольным относили деревья, у которых отсутствовало видимое искривление ствола в любой его части. Основная выборка для каждого климатипа – 50 деревьев. В основе статистического анализа лежит использование программы STATISTICA 8.0 (Statsoft, США). Корреляционно-регрессионный анализ проводили с использованием коэффициента корреляции Пирсона (r), и рангового коэффициента корреляции Спирмена (r_s), так как некоторые характеристики могут отклоняться от нормального распределения у представленных в географических культурах климатипов. Контроль – местный богучанский климатип. Сравнение многолетних климатических характеристик мест происхождения климатипов проведено на основе данных из серии справочников по климату СССР [4].

Результаты и обсуждение

Морфологические исследования роста и состояния климатипов сосны в географических культурах позволили выявить ряд закономерностей по росту в высоту и по диаметру. Выявлена зависимость средней высоты от климатогеографических факторов мест происхождения климатипов. Анализ средней высоты деревьев у климатипов в географических культурах на участке с песчаной почвой выявил значимую отрицательную линейную модель связи с длиной периода с продолжительностью безморозного периода в пункте происхождения ($y = 9.306 - 0.028$ x; $r = -0.40$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.16$) (Рисунок 1).

На графике видно, что среди климатипов, имеющих продолжительность безморозного периода короче 104 дней происходит разделение на две группы. Климатипы одной из них, состоящую из 12 популяций, можно условно назвать пластичными, адаптирующимися к условиям испытания. Несмотря на то, что у них в пункте происхождения безморозный период

короче (менее 104 дней), чем в пункте испытания (110 дней), средняя высота их деревьев не менее 7 м, что превышает среднее значение контроля (6.3 м). Это происходит благодаря успешной адаптации, увеличению периода вегетации и темпов прироста в высот, что свидетельствует о том, что эти климатипы более устойчивы к раннему началу вегетационного периода и поздневесенним заморозкам. К этим климатипам относятся как географически относительно близкие климатипы из Средней и Восточной Сибири (северо-енисейский, нижне-енисейский и енисейский из Красноярского края, усть-кутский, вихоревский, катангский и мамский из Иркутской области, заудинский из Бурятии, нерчинский из Забайкальского края), так и географически удаленные: авзянский из Башкортостана, корткеросский из Коми, кандалакшский из Мурманской области.

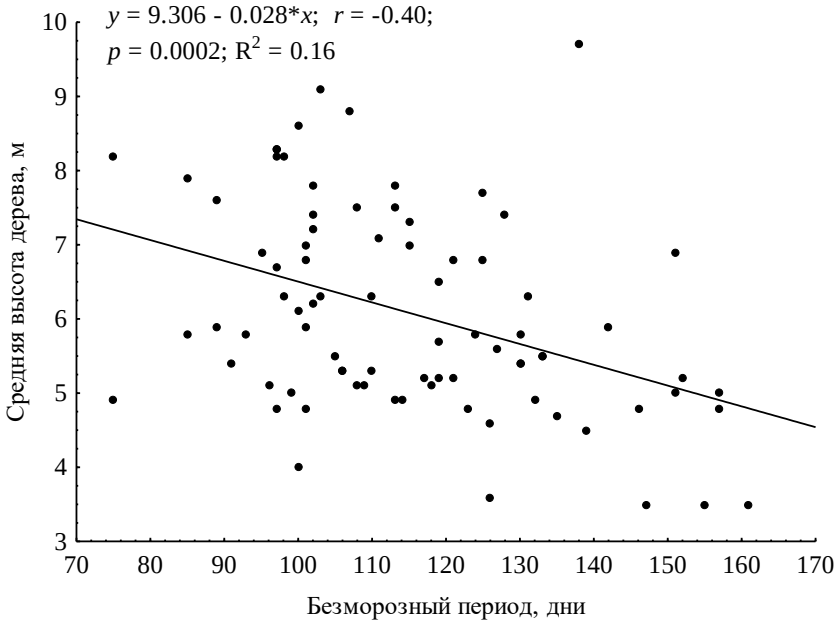


Рисунок 1. Зависимость средней высоты деревьев у 82 климатипов от продолжительности безморозного периода в виде линейной регрессионной модели.

Другую группу климатипов, имеющих среднюю высоту менее 6 м, и продолжительность безморозного периода менее 104 дней, представляют менее пластичные климатипы, которые в условиях более длинного вегетационного периода имеют низкие показатели средней высоты деревьев относительно контроля. К ним относятся 11 климатипов: печенгский из Мурманской области, плесецкий и пинежский из Архангельской области, чупинский из Карелии, ревдинский из Свердловской области, абазинский из Хакасии, зиминский из Иркутской области, могочинский и читинский из Забайкальского края, урушинский из Амурской области и туруханский из Красноярского края. Эти климатипы, из-за консервативного характера средней высоты, можно условно отнести к генетически стабильным или обособленным по данному показателю, и которые с высокой вероятностью будут отличаться от других по комплексу физиологических и биохимических признаков. Отдельный график без учета этих климатипов показывает значительное увеличение коэффициента корреляции и детерминации линейной модели (y = 11.4387−0.0441 x; r = −0.59; p < 0.001; R^2 = 0.35) (Рисунок 2). Таким образом, основной условный тренд для климатипов, тестируемых в условиях южной тайги Красноярского края выглядит как снижение средней высоты дерева на 44 см при увеличении безморозного периода места происхождения на 10 дней.

Схожесть распределения средних значений высоты и диаметра по климатипам показывает, что диаметр в условиях песчаной почвы в целом реагирует на условия роста схожим образом, что и высота, но более высокие показатели индивидуальной изменчивости

диаметра (14–65 %) по сравнению с высотой (7–43 %) сигнализируют о том, что этот показатель более изменчив внутри исследуемых климатипов. Коэффициент корреляции между средней высотой и диаметром равен 0.94 ($p < 0.001$). Значимой корреляционной связи между диаметром и густотой не отмечается ($r_s = 0.04$), это свидетельствует об индивидуальных реакциях деревьев внутри древостоев климатипов на факторы, которые в меньшей степени связаны с конкурентными отношениями, чем с наследственными свойствами и реакцией на климатические условия в пункте испытания.

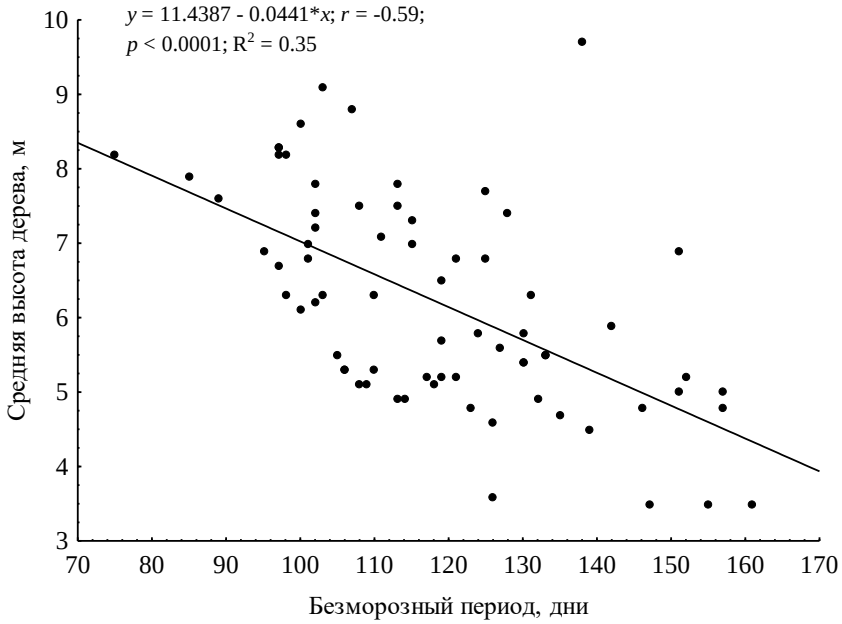


Рисунок 2. Зависимость средней высоты деревьев у 71 климатипа от продолжительности безморозного периода в виде линейной регрессионной модели.

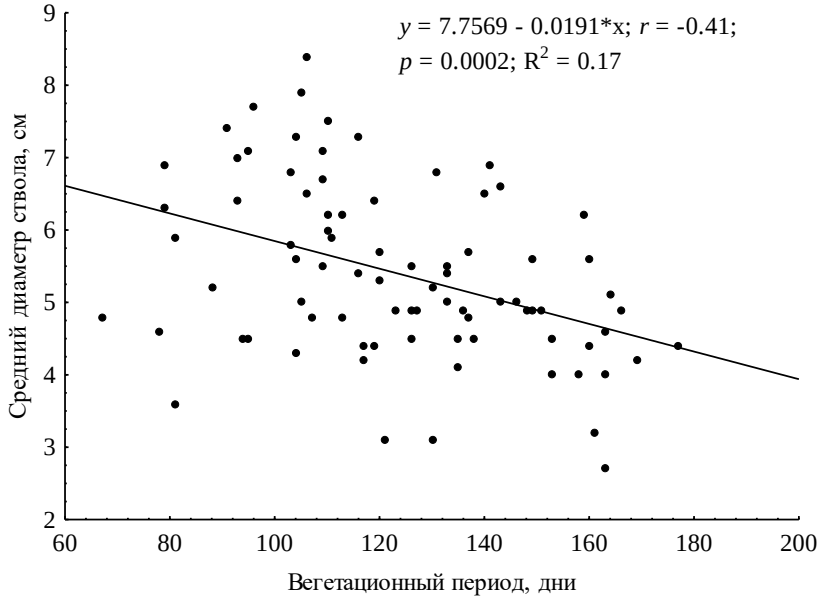


Рисунок 3. Зависимость среднего диаметра ствола дерева у 82 климатипов от продолжительности вегетационного периода в виде линейной регрессионной модели.

Наиболее значимая отрицательная связь диаметра ствола в отличие от высоты дерева отмечается с продолжительностью периода с температурами выше 10°С (вегетационный

период), описываемая линейной моделью (y = 7.7569−0.0191 x; r = −0.41; p < 0.001; R^2 = 0.17) (Рисунок 3).

Низкими показателями среднего диаметра (< 5 см), что ниже контроля (5.6 см), при общем тренде его увеличения с уменьшением продолжительности вегетационного периода места происхождения, отличаются печенгский (Мурманская область), плесецкий (Архангельская область), чупинский (Карелия), могочинский (Забайкальский край) и аянский из Хабаровского края, имеющие короткий вегетационный период (67–95 дней) по сравнению с контролем (104 дня). Высокие показатели среднего диаметра (> 6 см) показывают некоторые климатипы, у которых длина вегетационного периода значительно больше, чем у контроля (131–159 дней): солотчинский (6.2 см) из Рязанской области, авзянский (6.5 см) и белорецкий (6.8 см) климатипы из Башкортостана, боровлянский (6.6 см) из Алтайского края, курганский (6.9 см) из Курганской области. Этот факт свидетельствует об успешной адаптации данных климатипов к возникновению раннеосенних заморозков.

Оценка доли прямоствольных деревьев на участке с песчаной почвой в древостоях климатипов показала, что самая сильная связь, при которой регрессионная линейная модель наиболее точно описывает зависимость доли прямоствольных деревьев от климатических характеристик места происхождения, отмечается с суммой температур > 10 ºС (y = 169.843−0.0556 x;r = −0.78; p< 0.001; R^2 = 0.61) (Рисунок 4). Климатипы из более холодных условий (с суммой температур < 1800 ºС) способны иметь в географических культурах 100 % прямоствольных деревьев, тогда как при сумме температур > 2200 ºС ряд климатипов имеет 100 % кривоствольных деревьев. Положительные значимые связи отмечаются с северной широтой (r_s = 0.53; p< 0.001) и восточной долготой (r_s = 0.35; p< 0.01). Значимая положительная корреляция отмечается с густотой древостоев (r_s = 0.46; p< 0.001). Это объясняется тем, что южные климатипы в условиях испытания отличаются худшей сохранностью, причинами которой могут быть раннеосенние заморозки, и уязвимость к различным патогенам и стрессовым факторам, способствующим ослаблению дерева и возникновению искривлений ствола в результате различных нарушений, как апикального, так и радиального роста.

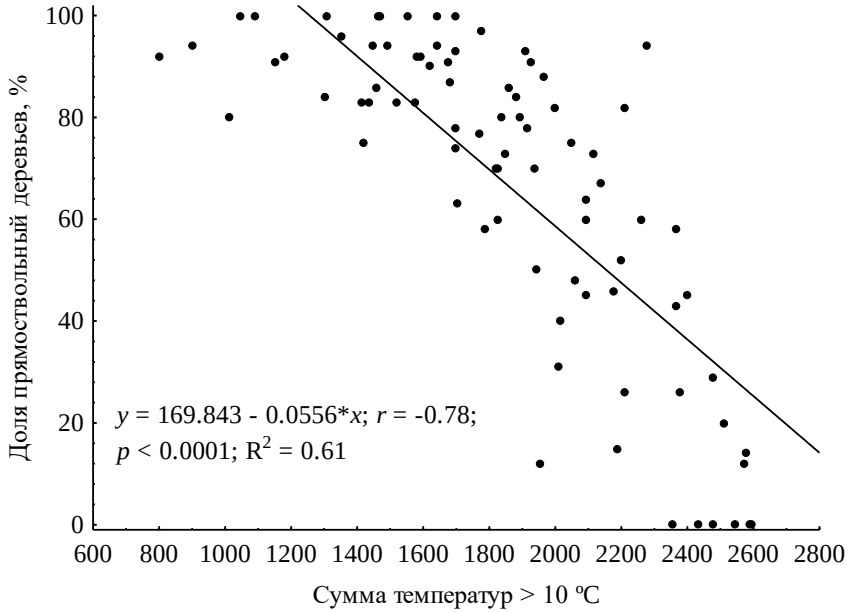


Рисунок 4. Зависимость доли прямоствольных деревьев у 82 климатипов от продолжительности вегетационного периода в виде линейной регрессионной модели.

Климатипы, превосходящие по доле прямоствольных деревьев контроль (87 %), относятся в основном к северным территориям, имеющим продолжительность безморозного периода короче, чем у контроля, или относительно невысокую сумму температур > 10 ºС с небольшой продолжительностью вегетационного периода места их происхождения. Данные

результаты согласуются с исследованиями, в которых сообщается о высокой доле кривоствольности у относительно южных происхождений [2, 3, 5].

Средняя высота, диаметр, запас стволовой древесины и прямоствольность выше или значимо не отличающиеся от контроля в условиях песчаной почвы отмечаются у кандалакшского климатипа из Мурманской области, тотемского из Вологодской области, сортавальского и пудожского из Карелии, слободского из Кировской области. колпашевского из Томской области, гурьевского из Кемеровской области, проспихинского, нижне-енисейского, северо-енисейского и енисейского из Красноярского края, усть-кутского, катангского, мамского из Иркутской области, корткеросского из Коми, нерчинского климатипа из Забайкальского края.

Высокие показатели корреляции доли прямоствольных деревьев с другими характеристиками позволяют выделить этот признак как один из ключевых и интегральных для выделения перспективных климатипов или исключения отдельных популяций из числа возможных источников семян для лесовосстановления в условиях песчаных почв, так как при отборе важное значение имеет общая устойчивость потомства популяции и качество стволовой древесины.

Изученные признаки сосны обыкновенной являются частью комплекса признаков, позволившего выделить успешные климатипы и территории, на которых представлены представители данного вида со схожими показателями, положенными в основу рекомендаций по уточнению лесосеменного районирования в Средней и частично Восточной Сибири [1]

Благодарности

Работа выполнена в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (№ FWES-2024-0028).

Список литературы

1. Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Лесосеменные районы сосны обыкновенной на основе оценки роста географических культур в Сибири // Сибирский лесной журнал. 2020. № 6. С. 3–15.

2. Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на европейском севере. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2008. 308 с.

3. Селекция лесных пород / П.И. Молотков, И.Н. Патлай, Н.И. Давыдова [и др.]. М.: Лесная промышленность, 1982. 223 с.

4. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеоиздат. 1964–1969. Выпуски 1–29. Часть 2. Температура воздуха и почвы.

5. Shutyaev A.M., Giertych M. Genetic subdivisions of the range of Scots pine (Pinus sylvestris L.) based on a transcontinental provenance experiment // Silvae Genetica. 2000. Vol. 49. no. 3. P. 137–151.

References

1. Kuzmin S.R., Kuzmina N.A. Forest-seeded areas of Scots pine based on an assessment of the growth of geographical crops in Siberia // Siberian Forest Journal. 2020. No. 6. pp. 3-15.

2. Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. Geographical cultures in genetic and ecological research in the European North. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2008. 308 p.

3. Breeding of forest species / P.I. Molotkov, I.N. Patlay, N.I. Davydova [et al.]. Moscow: Lesnaya promyshlenniya, 1982. 223 p.

4. Handbook of the USSR climate. L.: Hydrometeoizdat. 1964–1969. Issues 1-29. Part 2. Air and soil temperature.

5. Shutyaev A. M. - Gertych M. subdivisiones Geneticae teli scotorum pinus (pinus silvestris L.) ex Experimento provenientiae Transcontinentis // Geneticae Silvae. 2000. Vol. 49. n. 3. P. 137-151.

DOI: 10.58168/Forestry2025_80-89
УДК 630 5:612

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В БЕЛАРУСИ

О.В. Лапицкая

к.э.н., доцент кафедры «Маркетинг и отраслевая экономика»,
Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. Показано, что лесное хозяйство Беларуси является одной из важных отраслей народного хозяйства страны. Леса Беларуси представляют собой ценный возобновляемый природный ресурс, обеспечивающий потребности республики в древесине и экологических полезностях. Установлено, что в лесах Беларуси необходимо увеличить долю сосны и твердолиственных, и увеличить процент молодняков, что положительно скажется на объемах лесопользования в перспективе. Предложено повысить долю рентных поступлений для финансирования лесного хозяйства.

Ключевые слова: породная структура лесов, возрастная структура лесов, сосна, дуб, береза, молодняки, лесная рента.

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF FORESTRY IN BELARUS

O.V. Lapitskaya

PhD in Economics, Assistant Professor, the department of Marketing and sectoral economics. Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus

Abstract. It is shown that forestry in Belarus is one of the important sectors of the national economy of the country. The forests of Belarus are a valuable renewable natural resource that meets the needs of the republic for timber and environmental benefits. It has been established that in the forests of Belarus it is necessary to increase the share of pine and hardwood trees, and to increase the percentage of young trees, which will have a positive effect on the volume of forest use in the future. It is proposed to increase the share of rent receipts for financing forestry.

Key words: Species structure of forests, age structure of forests, pine, oak, birch, young forests, forest rent.

Введение. Леса в Республике Беларусь являются одним из важнейших природных возобновляемых ресурсов. Общая площадь лесов Беларуси составляет около 8,5 млн.га. Лесистость страны за последние 80 лет постоянно возрастала. Если в 1944 году сразу после освобождения республики от немецкой оккупации в силу вырубок и пожаров она была самой низкой за всю историю (18 %), то усилиями лесоводов к настоящему времени она составляет около 41 % [6, 14].

Все леса Беларуси являются государственной собственностью. Хозяйство в лесах ведут различные ведомства. Наибольшая площадь лесов находится в подчинении Министерства лесного хозяйства – 89 %, Управление делами Президента Республики Беларусь (Заповедники, Национальные парки и т.д.) – 7,9 %, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды – 2,2 %, иные ведомства (Национальная академия наук Беларуси, Министерство образования, местные исполнительные и распорядительные органы) – 0,9 %.

© Лапицкая О. В., 2025

Основная хозяйственная деятельность в лесах Беларуси осуществляется 99 лесхозами, подчиненными Министерству лесного хозяйства. Лесхозы выполняют два вида деятельности: лесохозяйственную и коммерческую. В настоящее время коммерческая деятельность (лесозаготовки, переработка древесины и т.д.) в лесхозах преобладает, обеспечивая более 70 % финансирования лесхозов. Лесохозяйственная деятельность (лесовосстановление, рубки ухода в молодняках, охрана и защита леса, лесоустройство, мероприятия по экологии) финансируется в основном из государственного бюджета. В Беларуси в советские времена заготавливалось 10-11 млн. кубометров древесины по всем видам пользования, из которых главное пользование составляло 5-6 млн. м^3 [6].

В настоящее время в Беларуси за последние годы заготавливается 22-26 млн. м^3 древесины: главное пользование – 12-14 млн. м^3, промежуточное – около 5-6, прочие рубки, которые проводятся в местах, где леса уничтожены ураганами, а также в местах массового размножения елового лубоеда и соснового вершинного короеда – в отдельные годы доходит до 6-8 млн. м^3 в год. За последние 5 лет в связи с изменением климата повреждение лесов от ураганов значительно возросли и приобретают характер стихийных бедствий. Так, наиболее большие буреломы за последние 2 года были в южной части Гомельской области, а также в Могилевской области. Для своевременной заготовки древесины на буреломных участках привлекаются практически все лесхозы республики.

Лесное хозяйство Беларуси всегда имело более высокий уровень, чем лесное хозяйство России, особенно в многолесных районах. Такое положение сохраняется до сих пор. Заготовка древесины в Беларуси более чем на 50 % осуществляется в основном с помощью харвестеров, которых имеется около 500 единиц, и вывозится форвардерами, которых имеется около 450 единиц. При этом отметим, что больше половины харвестеров и большинство форвардеров производятся отечественными заводами и имеют высокое качество.

Заготовка древесины проводится как силами лесхозов, так и на услугах: концерном «Беллесбумпром» и частными лесозаготовительными предприятиями. Вырубленные леса своевременно восстанавливаются главными породами. Значительная часть заготовленной древесины экспортируется через Белорусскую универсальную товарную биржу. Ранее основные потоки экспорта уходили в Западную Европу. Теперь же в связи с необоснованными санкциями экспорт древесины в Беларуси переключается на Восток: Китай, Азербайджан, Узбекистан, Россия. Хотя условия экспорта в этом случае ухудшились из-за более длительного плеча перевозки, снижения цены экспортируемой древесины и сокращения ассортимента, но все же за 2024 год было реализовано на экспорт около 7 млн. м^3 древесины. Древесина реализуется в переработанном виде, так как экспорт круглого леса давно запрещен.

Не смотря на то, что лесное хозяйство Беларуси развивается динамично, имеет высокие показатели развития и является одной из важнейших отраслей народного хозяйства страны, здесь также имеется множество проблем как сегодняшнего дня, так и перспективных. Поэтому целью настоящей статьи нам представляется выявить основные проблемы лесного хозяйства и определить пути их решения, особенно на перспективу, что делает настоящую статью актуальной.

Материалы и методика исследований. Материалом для настоящей работы явились ведомственные статистические материалы Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, находящиеся в открытом доступе: Справки об итогах выполнения показателей социально-экономического развития отрасли в 2023, 2024 годы, результаты итоговой коллегии Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь за 2023, 2024 годы. Использованы также материалы Государственного лесного кадастра Республики Беларусь за 2022, 2023 годы [13, 14] и имеющиеся литературные источники [6, 8, 18 и т.д.].

Методика исследований включала в себя обычные экономические, лесоводственные и лесоустроительные методы с использованием элементов системного анализа [3, 4, 5, 10, 22].

Результаты и их обсуждения. Лесное хозяйство Беларуси за последние 200-250 лет проходило различные этапы своего развития, которые оказывали как положительное, так и отрицательное влияние на белорусские леса. Лесное хозяйство Беларуси мы будем

рассматривать, применяя основные принципы диалектики и системного анализа, т.е. рассматривать сложившиеся положение в лесном хозяйстве с учетом истории его развития и основных принципов системного подхода [6, 10].

Историю лесного хозяйства в XIX веке мы можем опустить, так как на современное состояние лесного фонда оно уже влияние практически не оказывает. В настоящее время основными проблемами лесного хозяйства Беларуси являются следующие:

1. Неудовлетворительная породная структура лесного фонда.
2. Возрастная структура лесного фонда требует улучшения.
3. Возникшие в последние десятилетия проблемы с лесовосстановлением.
4. Необходимость усиления экологического потенциала лесов.
5. Совершенствование финансирования лесного хозяйства за счет лесной и экологической ренты, так как современные поступления по этим статьям не обеспечивают достаточное воспроизводство лесов и требуются дополнительные бюджетные финансирования.

Есть и ряд других, менее значимых проблем лесного хозяйства (состояние лесных дорог, состояние мелиоративной сети и т.д.), которые постепенно решаются, но уделить им внимание в настоящей статье нет возможности.

Породная структура лесов Беларуси складывалась постепенно в течение последних 100 лет. Изначально леса Беларуси, как и всей Европейской части Советского Союза, состояли в основном из хвойных древесных видов. Это было одной из причин того, что известная теория нормального леса, которая возникла еще в конце XVIII-начале XIX вв. и сохраняет свою значимость до сих пор [5, 6], предусматривала только равномерное распределение древостоев по классам возраста [1, 20, 25].

В настоящее время в Беларуси такой подход недостаточен. Для реализации теории нормального леса в Беларуси при проектировании и планировании лесохозяйственной деятельности необходимо учитывать оптимизацию породного состава древостоя и их полноты. При этом целесообразно теорию нормального леса применять в каждой из хозсекций. В лесоустроительных правилах последнего десятилетия [6, 12,13, 14, 17, 21] понятие «хозсекции» опущено, но в перспективе оно должно быть восстановлено, так как часто требуется дифференциация возрастов рубок по уровням производительности, а также применение различных технологий лесозаготовок по главному пользованию и при уходе за лесом. Поэтому актуальной задачей при использовании теории нормального леса в лесном хозяйстве Беларуси является оптимизация породной структуры лесов, оптимизация возрастов и оборотов рубки и обеспечение своевременного восстановления лесов.

Породная структура лесов Беларуси особенно ухудшилась в 80-90-е годы прошлого века. Дело в том, что экономический кризис в стране требовал сокращения затрат на лесное хозяйство. Объемы ежегодно создаваемых лесных культур значительно сократились, примерно в 2-3 раза. Этому нашлось и теоретическое обоснование, которое заключалось в том, что естественные насаждения более устойчивы к неблагоприятным условиям внешней среды, а для их возобновления затраты минимальны. Это правильно, но при этом упускалось из виду, что для того, чтобы сохранялась главная порода при естественном возобновлении, требовались весьма интенсивные осветления и прочистки, куда необходимо вложить большие средства и много труда, а в те годы он был в основном ручным.

Такой подход вскоре сказался на породной структуре лесов: доля сосны существенно уменьшилась (на 10-15 %), не увеличился процент дуба и твердолиственных, а площади березы значительно возросли. В лесах Беларуси за последние 5-10 лет породная структура, хотя незначительно колеблется по годам, но представлена следующим породным составом: сосна 49 % от площади земель, покрытых лесом, ель – 9,25, дуб – 3,4, прочие твердолиственные – 0,6, ольха черная – 9, береза – 23, прочие мягколиственные 5-6 % [12, 13, 14, 20].

Учитывая длительный характер воспроизводства лесов, нам необходимо знать, какие древесные породы и какие сортименты будут необходимы на рынке через 50-80 лет. Это является одним из важнейших принципов лесного маркетинга [20]. Поэтому следует обратить особое внимание на оптимизацию породной структуры для того, чтобы в перспективе на рынке имелись необходимые сортименты нужных пород [20]. Соответствующие мероприятия надо проводить уже сейчас.

Оптимальная породная структура лесов Беларуси предложена многими авторами: И.Д. Юркевичем. Ф.П. Моисеевым, А.В. Неверовым, В.Е. Ермаковым и другими [7, 16]. Их данные несколько различаются в зависимости от подхода к определению оптимальной породной структуры: типологический, лесоводственный, экономический, но в целом все авторы считают, что в лесном фонде должны преобладать хвойные и твердолиственные. В обобщенном виде оптимальная породная структура предложена нами на основе сочетания лесоводственных, типологических и экономических подходов [20], где главные древесные породы (сосна, ель, дуб и твердолиственные, береза, ольха черная) должны занимать следующие площади в % от земель, покрытых лесом: сосна – 63 %, ель – 7,5, лиственница – 0,5 %, дуб – 7 %, прочие твердолиственные – 2, ольха черная – 8 %, а доля березы снижается до 8-10 %. Последняя порода тоже представляет значительную ценность как источник фанерного сырья и баланса для получения высококачественной бумаги, но в Беларуси береза является неизменной спутницей сосны в смешанных сосново-березовых насаждениях, за счет чего березовой древесины заготавливается достаточно.

Весьма перспективной древесной породой Беларуси считается лиственница европейская. Большое внимание за последние 60 лет было уделено внедрению в лесной фонд Беларуси лиственницы. Было показано, что лиственница европейская имеет более быстрый рост и накапливает бóльшие запасы древесины, чем другие хвойные [6, 26]. В 50-е годы прошлого века площади лиственницы в лесном фонде превышали 2500 га. Но постепенно эта порода из лесного фонда исчезала. Внимание к лиственнице возросло, когда руководителем лесного ведомства в Беларуси был Н.К. Крук, который предложил специальную программу разведения лиственницы европейской. Но в настоящее время площади под лиственницей в республике незначительные, хотя она интенсивно высаживалась.

В литературе за последние 3-4 десятилетия неоднократно отмечалась низкая доля дубовых и твердолиственных пород в лесном фонде [2, 9, 23, 26]. С этой целью в 1998 году была проведена специальная конференция и издан сборник научных трудов, где опубликованы труды многих ученых, посвещенные повышению доли дуба в лесном фонде Республики Беларусь [15]. Лесное хозяйство реагировало на предложения ученых и соглашалось с ними. Для повышения доли главных пород в лесном фонде принимались соответствующие программы. Несмотря на это, доля дуба в лесном фонде Республики Беларусь за последние десятилетия существенно не повысилась.

Ольха черная, хотя и является мягколиственной породой, но в силу того, что она занимает специфические условия местопроизрастания, где другие породы произрастать не могут, считается главной породой. Проблема черноольховых древостоев состоит в том, что она представлена в основном порослевыми насаждениями 2, 3 и даже 4 генерации. Древесина ольхи черной со средины XIX века интенсивно используется для изготовления фанеры, из-за чего эта порода интенсивно вырубалась, а возобновлялась в основном за счет корневой поросли.

Рассматривая причины неудач с реализацией хороших программ по увеличению доли твердолиственных пород, лиственницы европейской, ольхи черной семенного происхождения видим, что основная причина лежит в области экономики. Все названные программы не были обеспечены достаточным дополнительным финансированием. Их реализация предполагалась в порядке выполнения основных планов по проведению рубок ухода. В тоже время для реализации программ по сохранению дубовых, лиственничных насаждений, увеличения доли семенной ольхи черной требуются гораздо большие затраты, чем при проведении осветлений в сосновых и еловых древостоях. Особенно много требовалось затрат труда, а в прежние

времена осветления проводились в основном ручным способом. В силу этого все безусловно правильные и хорошие предложения оказались нереализованными, и доля дуба, лиственницы и семенной ольхи черной в лесном фонде Беларуси не повышалась.

Обобщая изложенное, приходим к выводу, что причиной ухудшения породного состава лесов Беларуси служит именно экономика воспроизводства и выращивания древостоев. Повышение производительности труда и сокращение трудовых затрат за счет внедрения новой техники и современных технологий позволяет решить эту проблему в ближайшие десятилетия.

За последние десятилетия возникли проблемы с лесовосстановлением. В настоящее время суходольные насаждения в Беларуси восстанавливаются в основном путем создания лесных культур. В лесной фонде Беларуси лесные культуры занимают свыше 25 % от площади лесных земель и свыше 26 % от земель, покрытых лесом [14]. В то же время приживаемость лесных культур стала относительно невысокой: если еще 30-40 лет назад приживаемость лесных культур составляла свыше 90 %, а многие лесхозы добивались приживаемости 95 % [11], то в настоящее время этот показатель существенно снизился. Причиной явилось уменьшение численности населения в сельской местности, что не позволяет произвести посадку в оптимальные сроки, а также изменение климата, приводящее к засухам.

Такое положение за последние годы, особенно, когда к руководству отраслью пришел А.А. Кулик, лесхозы пытаются исправить коренным образом. Для этого широко применяются посадки лесных культур с закрытой корневой системой. Хотя стоимость создания таких культур весьма высока, но она обеспечивает удлинение периода посадки леса, повышению приживаемости и лучшему росту лесных культур. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь за последние годы объемы лесовосстановления и лесоразведения достигают порядка 34 тыс. га, при этом 97 % высаженных лесных культур представлены хвойными и твердолиственными породами. Поэтому перспективы улучшения породного состава лесов Беларуси достаточно оптимистичны.

Возрастная структура лесов Беларуси формировалась в течение длительного времени. Основное влияние на нее оказали проводимые массовые вырубки лесов в XIX-первой половине XX века и последующее интенсивное лесовосстановление. До конца XVIII века ежегодный объем лесопользования на современной территории Беларуси был относительно небольшим – менее 10 млн. м^3. После присоединения Беларуси к России в конце XVIII века в силу потребностей для строительства городов и военно-морского флота большой страны объем вырубки существенно вырос, и к 1860 году составил 12 млн. м^3. Бурный рост лесопользования наступил после отмены крепостного права в России и интенсивного развития капитализма: к 1913 году он достиг 20 млн. м^3. Не смотря на предпринимаемые меры по лесовосстановлению, лесистость территории постоянно уменьшалась: в 1860 году лесистость составляла 44 %, в 1913 – 33 % [19].

История лесопользования в 20-30-е годы XX века полна драматизма. Потребности древесины в 20-30-е годы для решения задач первых пятилеток превышали возможности заготовки объемов древесины в пределах теории постоянства лесопользования. Поэтому принцип постоянства лесопользования в эти годы и в вплоть до конца 60-х годов прошлого века был отвергнут, хотя ведущие советские ученые лесоустроители и экономисты (М.М. Орлов, А.В. Тюрин, Н.П. Анучин) этому возражали. С их мнением не посчитались, что для многих ученых имело драматические последствия, и объемы лесопользования на территории Беларуси в границах до 1930 года (менее 2/3 современной территории) составляли в среднем 15-18 млн. м^3 в год по главному пользования, а в отдельные годы доходили до 25 млн. м^3 в год [6].

Во время Великой Отечественной войны и сразу после нее объемы лесопользования еще более возросли – до 30-35 млн. м^3 в год, что вполне объяснимо, так как потребности военного времени и послевоенного восстановления страны, которая лежала в руинах, а значительная часть людей жила в землянках, не позволяли соблюдать научно-обоснованные нормативы лесопользования [19].

Все это привело к тому, что спелые леса, особенно хвойные и твердолиственные, были вырублены практически полностью. К концу 50-началу 60-х годов прошлого века в Беларуси осталось менее 2 % спелых лесов. Возникла угроза прекращения рубок главного пользования. Поэтому в 1958 году возраст рубки древостоев Беларуси был снижен на класс возраста, что позволило сохранить лесопользование в стране и обеспечивать ее потребности в древесине.

Одновременно шло усиленное лесовосстановление. В результате в 60-70-е годы в лесах Беларуси преобладали молодняки, а в 80-90-е годы и в начале XXI века – средневозрастные насаждения. Эта проблема была достаточно острой и неоднократно обсуждалась в литературе [6, 27].

К настоящему времени положение существенно изменилось. По данным лесного Кадастра на 01.01.2024 г. возрастная структура лесов Беларуси выглядит следующим образом (таблица).

Таблица – Распределение древостоев основных лесообразующих пород по группам и классам возраста

Порода	Площади насаждений по группам возраста (% от площадей, покрытых лесом)							
	молодняки			средне возрастные	приспевающие	спелые и перестойные		итого
	1 класс	2 класс	итого			всего	в т. ч. Перестойные	
Сосна	7,9	9,8	17,7	30,8	32,5	19,0	0,7	100
Ель	12,2	13,2	25,4	29,9	30,5	14,2	0,2	100
Дуб	9,9	8,8	18,7	47,6	16,0	17,7	3,3	100
Береза	4,4	9,2	13,6	51,9	17,9	16,6	0,6	100
Осина	9,1	12,8	21,9	12,7	15,4	50,0	25,0	100
Ольха черная	3,2	5,2	8,4	33,8	24,1	33,7	4,4	100

Анализ таблицы показывает, что количество спелых древостоев для хвойных, дуба и березы близки к своему оптимуму. Для осины и ольхи черной количество спелых древостоев значительно больше, чем требуется с соответствии с теорией нормального леса. В отношении осины это вызвано недостаточной востребованностью осиновой древесины из-за ее низкой потребительной стоимости. Средневозрастных и приспевающих насаждений в лесах Беларуси в целом больше, чем требуется по теории нормального леса. Это говорит о том, что в среднесрочной перспективе объемы лесопользования в Беларуси будут сохраняться на высоком уровне. В тоже время вызывает большое беспокойство недостаточное количество молодняков, особенно для хвойных и дуба: их количество в 2-3 раза меньше, чем требуется в соответствии с их оптимальным количеством. Недостаточное количество молодняков, если не принять мер по ускоренному увеличению их площадей, приведет через 40-50 лет к системному кризису и резкому сокращению объемов лесопользования. В определенной мере увеличение площадей молодняков за последние десятилетия происходит ускоренными темпами из-за массового усыхания и вырубки древостоев более старших возрастов в силу поражения еловым лубоедом (ели) и вершинным короедом (сосна), а также участившихся ураганов, проносящихся над территорией Беларуси. Последнее стихийное бедствие приводит к массовым буреломам и ветровалам, которые вырубаются в течение одного года, а лесосеки немедленно восстанавливаются главными породами.

Массовые вырубки древостоев обеспечивают эффективную коммерческую деятельность лесхозов. Не смотря на необоснованные санкции стран Запада, рентабельность коммерческой деятельности в Беларуси, хотя значительно уменьшилась, но сохраняется на приемлемом уровне – 15 % и более. Такую рентабельность лесхозы смогли обеспечить,

переориентировав поставки переработанной древесины на рынки дружественных стран: Россия, Китай, Азербайджан, Узбекистан и другие.

Вызывает беспокойство то, что основные финансовые поступления в лесхозах зависят от их коммерческой деятельности. Доходы от лесной ренты, которые выражаются поступлением от продажи леса на корню не покрывают затраты на проведение лесохозяйственной деятельности: лесовосстановление, рубки ухода в молодняках, охрана и защита леса, лесоустройство. По расчетам разных авторов лесные таксы в Беларуси должны быть повышены в 2-3 раза [20, 24]. При этом в настоящее время практически не используют показатели экологической ренты, т.е. мы не получаем дохода от депонирования диоксида углерода, водоохранных и почвозащитных функций леса и других его экологических полезностей. В настоящее время эта проблема усиленно прорабатывается, и в ближайшие годы есть перспектива реализации углеродных квот на международных рынках.

Заключение. Обобщая изложенное, приходим к следующим выводам:

Лесное хозяйство Беларуси является важной составляющей народного хозяйства страны, так как обладает большими природными возобновляемыми ресурсами, в полной мере обеспечивает сырьевыми ресурсами деревообрабатывающую промышленность, строительство и приносит значительные валютные поступления от экспорта.

Леса Беларуси обеспечивают экологическую стабильность территории республики и сопредельных государств, так как поглощение углекислого газа и выделение кислорода значительно превышает его эмиссию промышленными предприятиями и транспортом страны, а также выполняют водоохранные, почвозащитные и санитарно-гигиенические функции.

Лесное хозяйство Беларуси имеет серьезные проблемы, которые заключаются в недостаточно совершенной породной и возрастной структуре лесов. В лесах республики в ближайшее время требуется увеличить долю хвойных (в основном сосны) на 10-15 %, дуба и других твердолиственных – на 5-6 % и снизить долю березы примерно в 2 раза. Проблемой возрастной структуры лесов Беларуси является недостаточное количество молодняков, особенно 1 класса возраста, и здесь надо принять более энергичные меры для увеличения их площадей.

В перспективе необходимо увеличить рентную составляющую в системе финансирования лесного хозяйства, чтобы избежать бюджетных дотаций на проведение лесохозяйственных мероприятий.

Список литературы

1. Антанайтис, В. В. Современное направление лесоустройства / В.В. Антанайтис. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 280 с.
2. Багинский, В. Ф. Концепция выращивания смешанных дубовых древостоев в Республике Беларусь / В. Ф. Багинский // Лесная таксация и лесоустройство: международный научно-практ. журнал. – Красноярск: СибГТУ. – 2010. – №3.(43). – С. 24–32.
3. Багинский, В. Ф. Лесная биометрия : учебник / В. Ф. Багинский, О. В. Лапицкая. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины. – 2024. – 318 с.
4. Багинский, В. Ф. Лесная таксация : учебник / В. Ф. Багинский. – Минск : РИВШ, 2024. – 376 с.
5. Багинский, В. Ф. Лесная таксация и лесоустройство / В. Ф. Багинский. – Минск: РИПО, 2020. – 290 с.
6. Багинский, В. Ф. Лесопользование в Беларуси / В.Ф. Багинский, Л.Д. Есимчик. – Минск : Беларуская навука, 1996. – 367 с.
7. Багинский, В. Ф. Оптимизация видового состава лесов Беларуси / В. Ф. Багинский // Трансграничное сотрудничество в области охраны окружающей среды: состояние и перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 12–14 нояб. 2006 г. / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель, 2006. – С. 262–267.

8. Багинский, В. Ф. Перспективное лесоуправление : учебное пособие / В. Ф. Багинский, О. В. Лапицкая; М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. – 125 с.

9. Багинский, В. Ф. Повышение продуктивности лесов / В.Ф. Багинский. – Мн.: Урожай, 1984. – 135 с.

10. Багинский, В. Ф. Применение системного анализа в лесном хозяйстве / В. Ф. Багинский. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – 175 с.

11. Багинский, В. Ф. Проблемы лесовосстановления в Беларуси. /В.Ф. Багинский // Природные ресурсы. Межведомственный бюллетень. Научное издание.– Минск: НАН Беларуси, Министерство. природных ресурсов и охраны окружающей среды. – 1997. – № 2. – С. 64–72.

12. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь на 01.01.2020 года / М-во лес. хоз-ва. – Минск : Минлесхоз, 2020. – 105 с.

13. Государственный лесной Кадастр Республики Беларусь на 01.01.2022 года. – Минск : Минлесхоз. – 2022. – 90 с.

14. Государственный лесной Кадастр Республики Беларусь на 01.01.2024 года. – Минск : Минлесхоз. – 2023. – 87 с.

15. Дуб – порода третьего тысячелетия. Сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси. – Гомель ИЛ НАН. – 1998. – Вып. 48.

16. Ермаков, В. Е. Направление оптимизации видового состава лесов Беларуси / В. Е. Ермаков // Лесоведение и лесное хозяйство: Респ. межвед. сб. науч. тр. / Белорус. технол. ин-т. – Минск, 1987. – Вып. 22. – С. 71–75.

17. Инструкция о порядке организации и содержании лесоустроительных работ, составе лесоустроительной документации и авторском надзоре за реализацией лесоустроительных проектов. – Минск: М-во лес. хоз-ва Респ. Беларусь, 2018. – 44 с.

18. Комплексная продуктивность земель лесного фонда: монография / В. Ф. Багинский [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Багинского. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 295 с.

19. Лапицкая, О. В. История лесного хозяйства в Беларуси / О. В. Лапицкая, В. Ф. Багинский, // Лес в жизни восточных славян от Киевской Руси до наших дней : сб. науч. тр. – Вып. 57. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2003. – С. 64–70.

20. Лапицкая, О. В. Организация производства в комплексном лесном хозяйстве Беларуси в условиях устойчивого развития / О. В. Лапицкая. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 370 с.

21. Лесоустройство / Е. С. Мурахтанов, И. А. Моисеев, Н. И. Мороз, Д. П. Столяров. – М. : Лес. пром-сть, 1983. – 344 с.

22. Мелехов, И. С. Лесоведение / И. С. Мелехов. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 406 с.

23. Моисеенко, Ф. П. О закономерностях в росте, строении и товарности насаждений : доклад, обобщающий содержание опубликованных работ на соискание ученой степени д-ра с.-х. наук / Ф. П. Моисеенко. – Киев : УСХА, 1965. – 78 с.

24. Неверов, А. В. Эколого-экономическая концепция управления издержками лесохозяйственного производства / А. В. Неверов, М. Е. Боровская // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 5, Экономика и упр. – 2021. – № 1. – С. 83–91.

25. Орлов, М. М. Лесоустройство / М. М. Орлов. – М.: Лесное хозяйство и лесная промышленность, 1928. – Т. 2. – 326 с.

26. Усеня, В.В. Научный взгляд на проблему / В.В. Усеня // Белорус. лес. газета. – 2025. – 3 апр. (№ 14 (1555)). – С. 12.

27. Янушко, А. Д. Экономика лесного хозяйства / А. Д. Янушко. – Минск: УП «ИВЦ Минфина», 2004. – 368 с.

References

1. Antanaitis V. V. *Sovremennoye napravleniye lesoustroystva* [Modern direction of forest management]. Moscow, Forest industry, 1977. 280 p. (in Russian).
2. Baginsky V. F. Kontseptsiya vyrashchivaniya smeshannykh dubovykh drevostoyev v Respublike Belarus' [The concept of growing mixed oak stands in the Republic of Belarus]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo: mezhdunarodnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal = Forest taxation and forest management: international scientific and practical journal*, 2010, no.3(43), pp. 24–32 (in Russian).
3. Baginsky V. F. *Lesnaya biometriya* [Forest biometrics]. Gomel, GSU named F.Skoriny, 2024. 318 p. (in Russian).
4. Baginsky V. F. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Minsk, NIHE, 2024. 376 p. (in Russian).
5. Baginsky V. F. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest taxation and forest management]. Minsk, RIPO, 2020. 290 p. (in Russian).
6. Baginskii V. F., Esimchik L.D. *Lesopol'zovanie v Belarusi* [Forest management in Belarus]. Minsk, Belarusian science, 1996. 367 p. (in Russian).
7. Baginsky V. F. Optimizatsiya vidovogo sostava lesov Belarusi [Optimization of species composition of forests in Belarus]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Transgranichnoye sotrudnichestvo v oblasti okhrany okruzhayushchey sredy: sostoyaniye i perspektivy»* [Proc. of the Int. scientific and practical conference “Transboundary cooperation in the field of environmental protection: status and prospects”]. Gomel, 2006, pp. 262–267. (in Russian).
8. Baginsky V. F., Lapitskaya O. V. *Perspektivnoye lesoupravleniye* [Prospective forest management]. Gomel, GSU named F.Skoriny, 2023. 125 p. (in Russian).
9. Baginsky V. F. Povysheniye produktivnosti lesov [Increasing forest productivity]. Minsk, Harvest, 1984. 135 p. (in Russian).
10. Baginskii V. F. *Primenenie sistemnogo analiza v lesnom khozyaistve* [Application of system analysis in forestry]. Gomel, GSU named F.Skoriny, 2016. 175 p. (in Russian).
11. Baginskii V. F. Problemy lesovosstanovleniya v Belarusi [Problems of reforestation in Belarus]. *Prirodnyye resursy. Mezhve-domstvennyy byulleten'. Nauchnoye izdaniye = Natural resources. Interdepartmental bulletin. Scientific publication*, 1997, no.2, pp. 64–72 (in Russian).
12. *Gosudarstvennyi lesnoi kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2020 goda* [State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2020]. Minsk, Ministry of Forestry, 2020. 105 p.
13. *Gosudarstvennyi lesnoi kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2022 goda* [State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2022]. Minsk, Ministry of Forestry, 2022. 90 p.
14. *Gosudarstvennyi lesnoi kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2024 goda* [State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2024]. Minsk, Ministry of Forestry, 2023. 87 p.
15. Dub – poroda tret'yego tysyacheletiya [Oak is a species of the third millennium*]. Sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Proc. of the Institute of Forestry of the NAS of Belarus], 1998, no. 48 (in Russian).
16. Ermakov V. E. Napravleniye optimizatsii vidovogo sostava lesov Belarusi [Direction of optimization of species composition of forests of Belarus]. *Trudy BGTU «Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo»* [Proc. Of the BSTU “Forestry and forestry”], 1987, no. 22, pp. 71–75 (in Russian).
17. *Instruktsiya o poryadke organizatsii i soderzhanii lesoustroitel'nykh rabot, sostave lesoustroitel'noy dokumentatsii i avtorskom nadzore za realizatsiyey lesoustroitel'nykh proyektov* [Instructions on the procedure for organizing and maintaining forest management work, the composition of forest management documentation and author's supervision of the implementation of forest management projects]. Minsk, Ministry of Forestry, 2018. 90 p.

18. Baginskii V. F. et al. Kompleksnaya produktivnost' zemel' lesnogo fonda: monografiya [Complex productivity of forest lands: monograph]. Gomel, GSU named F.Skoriny, 2007. 295 p. (in Russian).

19. Lapitskaya O. V., Baginskii V. F. Istoriya lesnogo khozyaystva v Belarusi [History of forestry in Belarus]. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* «Les v zhizni vostochnykh slavyan ot Kiyevskoy Rusi do nashikh dney» [Proc. of the Institute of Forestry of the NAS of Belarus "Forest in the life of the East Slavs from Kievan Rus to the present day"], 2003, no. 57, pp. 64-70 (in Russian).

20. Lapitskaya O. V. *Organizatsiya proizvodstva v kompleksnom lesnom khozyaystve Belarusi v usloviyakh ustoychi-vogo razvitiya* [Organization of production in the integrated forestry of Belarus in the context of sustainable development]. Gomel, GSTU named P.O. Sukhoi, 2024. 370 p. (in Russian).

21. Murakhtanov E. S., Moiseyev I. A., Moroz N. I., Stolyarov D. P. *Lesoustroystvo* [Forest management]. Moscow, Forest industry, 1983. 344 p. (in Russian).

22. Melekhov I. S. *Lesovedeniye* [Forestry]. Moscow, Forest industry, 1980. 406 p. (in Russian).

23. Moiseyenko F. P. *O zakonomernostyakh v roste, stroyenii i tovarnosti nasazhdeniy*. Dokt, Diss. [On the patterns in the growth, structure and marketability of plantings. Doct. Diss.]. Kiev, 1965. 78 p.

24. Neverov A. V., Borovskaya M. E. Ekologo-ekonomicheskaya kontseptsiya upravleniya izderzhkami lesokhozyaystvennogo proizvodstva [Ecological and economic concept of cost management in forestry production]. *Ekonomika i upravleniye = Economics and Management*, 2021, no.1, pp. 83–91.

25. Orlov M. M. *Lesoustroystvo* [Forest management]. Moscow, Forestry and forest industry, 1928, vol. 2. 326 p. (in Russian).

26. Usenia V. V. Nauchnyy vzglyad na problemu [Scientific view on the problem]. *Belorusskaya lesnaya gazeta* [Belarusian forest newspaper], 2025, no. 14 (1555), p. 12 (in Russian).

27. Yanushko A. D. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Economics of forestry]. Minsk, Information and Computing Center Ministry of Finance of the Republic of Belarus, 2004. 368 p. (in Russian).

DOI: 10.58168/Forestry2025_90-99
УДК (630 232.312.3+630 232.323.7):630 232.32

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО (АНАЛИТИЧЕСКОГО) МОДЕЛИРОВАНИЯ НАСАЖДЕНИЙ ДУБА (QUERCUS) НА ПРИМЕРЕ ЛОКАЛЬНЫХ ТАБЛИЦ ХОДА РОСТА В ПЛАНЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ

В.И. Лисицын, Н.Н. Матвеев, Н.Ю. Евсикова, Н.С. Камалова

к.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры общей и прикладной физики,
д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры общей и прикладной физики,
к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой общей и прикладной физики,
к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры общей и прикладной физики,

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация. В работе моделируется динамика роста древостоев дуба (*Quercus*) с помощью эколого-физиологической модели (ЭФМ). С использованием локальных таблиц хода роста (ТХР) для семенного и порослевого дуба первого, второго и третьего бонитета показано, что параметр модели, характеризующий скорость потребления ресурса, имеет постоянное значение для данного бонитета, и это значение может служить индексом бонитета. А параметр модели, определяющий связь площади насаждения и его биомассы, остается в рамках породы постоянным и назван индексом породы.

Ключевые слова: эколого-физиологическая модель, местные таблицы хода роста, бонитетная шкала, порослевое насаждение дуба (*Quercus*), семенное насаждение дуба (*Quercus*).

FEATURES OF ECOLOGICAL-PHYSIOLOGICAL (ANALYTICAL) MODELING OF OAK PLANTATIONS (QUERCUS) ON THE EXAMPLE OF LOCAL GROWTH TABLES IN TERMS OF DECIDUOUS FOREST RENEWAL

V.I. Lisitsyn, N.N. Matveev, N.Yu. Evsikova, N.Yu. Evsikova

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent,Professor of the General and Applied Physics Department,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,Professor of the General and Applied Physics Department,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Head of the General and Applied Physics Department,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent,Associate Professor of the General and Applied Physics Department,

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

© Лисицын В. И., Матвеев Н. Н., Евсикова Н. Ю., Камалова Н. С., 2025

Abstract. The paper models the dynamics of oak (Quercus) stands growth using an ecological-physiological model (EPM). Using local growth tables (GT) for seed and coppice oak of the first, second and third bonitet, it has shown that the characterizing the resource consumption rate model parameter has a constant value for a given bonitet, and this value can serve as a bonitet index. And the determining the relationship between the stand area and its biomass model parameter remains constant within the species and is called the species index.

Keywords: ecological-physiological model, local growth tables, bonitet scale, coppice oak (*Quercus*) stand, seed oak (*Quercus*) stand.

Введение

Интерес к моделированию динамики роста древостоев дуба в последние годы усилился [2, 7, 12]. Это связано прежде всего с тем фактом, что породы дуба являются свето- и теплолюбивыми [11], они более устойчивы к повышению температуры и к засушливым явлениям [15]. В связи с климатическими изменениями в северной части Евразии (повышением температуры воздуха), а также возможностью решения карбоновой проблемы [13] с помощью дубовых насаждений, представляются весьма важными исследования по моделированию динамики роста древостоев дуба. Следует заметить, что проблема моделирования лиственных насаждений, прежде всего дубовых, связана с особенностями возобновления их древостоев. В практическом лесоводстве для возобновления древостоев дуба (*Quercus*) используются семенные, вегетативные или смешанные способы, в которых на одной площади в разных пропорциях применяются и семена, и поросль [1]. В большинстве случаев вегетативный способ восстановления насаждений дуба (*Quercus*) является порослевым. Выбор способа возобновления дубовых насаждений обусловлен причинами различного происхождения, в том числе биологическими факторами [1, 11].

Цель предлагаемой работы – выяснить экосистемные особенности произрастания дубовых насаждений различного происхождения с помощью эколого-физиологического (аналитического) моделирования [1, 7], не затрагивая проблемы лесохозяйственного значения перечисленных выше приемов лесовосстановления. Для выяснения особенностей развития древостоев дуба применяются таблицы хода роста (ТХР) как семенного, так и порослевого способа выращивания. Эмпирические данные взяты из локальных (местных) ТХР, приведенных в монографиях В.А. Усольцева [9, 10].

Методика

Принципиальным моментом использования ТХР в эколого-физиологическом моделировании (ЭФМ) является наличие в них значения времени t_{max}, которое соответствует максимальной биомассе насаждения. Однако, не все ТХР содержат в себе этот параметр. В ряде случаев приходится определять t_{max} экстраполяцией по трем наибольшим значениям времени в таких таблицах. Как правило, ТХР предоставляют такую возможность, демонстрируя сходимость данных о биологической продуктивности к максимальному значению. Если проведенная экстраполяция укладывается в пределы одного шага ТХР, что составляет примерно 10 лет, то полученные значения t_{max} вполне математически обоснованны и могут быть использованы для дальнейшего анализа. Если экстраполяция дает значения времени, выходящие за рамки одного шага таблицы, то возможны два варианта:

1) если отличие t_{max} от наибольшего соответствующего значения не превышает двух-трех шагов и вполне соответствует искомой величине t_{max}, то это время вполне обоснованно, исходя из данных других источников;

2) если отличие t_{max} от наибольшего соответствующего значения в ТХР превышает указанную величину или сходимость к максимальному значению не наблюдается, то такая ТХР для анализа не подходит, и расчеты по ней не приводятся.

Кроме указанного значения времени t_{max} из ТХР берутся начальные значения биомассы насаждения $M(t_0)$ и числа деревьев на гектар $N(t_0)$, которые используются в ЭФМ для решения соответствующих дифференциальных уравнений [4, 7].

Параметрами модели являются:

1) m_∞ – значение биомассы отдельного дерева в момент времени, принятый за максимально возможный для данного древостоя, соответствующий деградации древостоя (согласно термодинамическому смыслу ЭФМ), значительно превышающий t_{max};
2) N_∞ – значение числа деревьев на гектар в момент времени, принятый за максимально возможный для данного древостоя;
3) q – фактор, связывающий площадь и биомассу древостоя;
4) r – скорость расхода ресурса.

Для определения параметров m_∞, N_∞, q и r проводится процедура оптимизации, используя критерий эффективности Нэша-Сатклиффа [14], относительные отклонения для каждого возраста, приведенного в соответствующей ТХР, и среднеквадратичное отклонение. Более подробное описание этих параметров приводится в наших работах [4, 7].

Результаты расчетов и обсуждение

Расчеты проведены для девяти семенных и четырех порослевых насаждений дуба первого, второго и третьего бонитетов. Всего было обработано 38 ТХР. Результаты сведены в таблицы 1 и 2 для семенного и порослевого насаждений отдельно. Первые четыре столбца в особых комментариях не нуждаются, так как их содержание полностью раскрывается в соответствующих заголовках столбцов. А значения последующих столбцов требуют подробного объяснения. Заметим, что содержимое второго и третьего столбцов было взято из таблиц монографий В.А. Усольцева [9, 10], поэтому ссылки на литературу, содержащую соответствующие ТХР, в данной работе не приводятся, их можно найти в указанных работах [9, 10].

Для удобства анализа каждое насаждение приведено в виде последовательной тройки соответственно первого, второго и третьего бонитета. Ранее [5, 6] нами было высказано предположение о том, параметры ЭФМ r и q (седьмой и восьмой столбцы таблиц) являются характеристиками бонитета и породы древостоя. Из представленных таблиц 1 и 2 однозначно следует, что значения параметра r, равные 0,05, 0,053 и 0,056 определяют первый, второй, третий бонитеты насаждения соответственно, поэтому параметр r можно назвать индексом бонитета.

Таблица 1. Семенные дубовые насаждения. Результаты расчетов параметров ЭФМ и значения критерия Нэша-Сатклиффа для Европейской России и Белоруссии

№ п/п	Регион	Тип древостоя, автор ТХР, год получения	Бонитет	m∞, тонн	N∞, 1/га	q	r	tmax, лет	Mm	MN	MM
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Европейская Россия	Семенное насаждение дуба, Ф.П. Моисеенко, 1967	1	5,6	85	0.775	0.05	246	0.999	0.999	0.967

2	Европейская Россия	Семенное насаждение дуба, Ф.П. Моисеенко, 1967	42	3,6	108	0.775	0.053	247	0.992	0.986	0.960
3	Европейская Россия	Семенное насаждение дуба, Ф.П. Моисеенко, 1967	3	2,47	125	0.775	0.056	238	0.990	0.981	0.940
4	Белоруссия	Модальные насаждение дуба, снытный и крапивный типы, В.Ф. Багинский, 1984	1	6,4	33	0.775	0.05	148	0.998	0.987	0.996
5	Белоруссия	Модальные насаждение дуба, кисличный и папоротниковый типы, В.Ф. Багинский, 1984	2	4,15	46	0,775	0,053	197	0,994	0,998	0,995
6	Белоруссия	Модальные насаждение дуба, черничный тип, В.Ф. Багинский, 1984	3	2,7	58	0,775	0,056	178	0,996	0,999	0,991
7	Белоруссия	Нормальные насаждение дуба, снытный и крапивный типы, В.Ф. Багинский, Ф.П. Моисеенко, 1984	1	4,7	88	0,775	0,05	213	0,999	0,990	0,982
8	Белоруссия	Нормальные насаждение дуба, кисличный и папоротниковый типы, В.Ф. Багинский, Ф.П. Моисеенко, 1984	2	3,17	110	0,775	0,053	197	0,999	0,994	0,967
9	Белоруссия	Нормальные насаждение дуба, черничный тип, В.Ф. Багинский, Ф.П. Моисеенко, 1984	3	2,1	145	0,775	0,056	197	0,995	0,999	0,969

10	Белоруссия	Семенные сомкнутые дубняки, ясенево-грабовый тип, Ф.П. Моисеенко, 1967	1	4,95	88	0,775	0,05	218	0,996	0,998	0,992
11	Белоруссия	Семенные сомкнутые дубняки, грабово-кисличный тип, Ф.П. Моисеенко, 1967	2	3,4	110	0,775	0,053	191	0,999	0,999	0,988
12	Белоруссия	Семенные сомкнутые дубняки, грабово-черничный тип, Ф.П. Моисеенко, 1967	3	2,05	153	0,775	0,056	201	0,999	0,997	0,985

Таблица 2. Порослевые дубовые насаждения. Результаты расчетов параметров ЭФМ и значения критерия Нэша-Сатклиффа для областей Центрально-Черноземного района (ЦЧР) России и Центрального района Европейской части России

№ п/п	Регион	Тип древостоя, автор ТХР, год получения	Бонитет	m_∞, тонн	N_∞, 1/га	q	r	t_{max}, лет	M_m	M_N	M_M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Лесостепь областей ЦЧР	Сомкнутые порослевые насаждения дуба, И.М. Науменко, Л.В. Бицин, 1967	1	5,0	71	0,74	0,05	156	0,999	0,972	0,943
2	Лесостепь областей ЦЧР	Сомкнутые порослевые насаждения дуба, И.М. Науменко, Л.В. Бицин, 1967	2	3,3	86	0,74	0,053	134	0,999	0,968	0,925
3	Лесостепь областей ЦЧР	Сомкнутые порослевые насаждения дуба, И.М. Науменко, Л.В. Бицин, 1967	3	1,85	120	0,74	0,056	100	0,999	0,944	0,927

4	Центральный район Европейской части	Нормальные древостои порослевого дуба, А.Д. Дударев, 1993	1	2,5	133	0,7	0,05	126	0,985	0,933	0,934
5	Центральный район Европейской части	Нормальные древостои порослевого дуба, А.Д. Дударев, 1993	2	1,6	170	0,7	0,053	131	0,992	0,920	0,934
6	Центральный район Европейской части	Нормальные древостои порослевого дуба, А.Д. Дударев, 1993	3	1,1	205	0,7	0,056	121	0,995	0,950	0,922

Параметр модели q по высказанному нами предположению [5, 6], как отмечено выше, характеризует породу древостоя. Однако, он различен для насаждений семенного происхождения (q = 0,775) и порослевого (q = 0,74 и 0,7 для насаждения, ТХР которого представлен А.Д. Дударевым, год публикации 1993). Это различие свидетельствует о том, что экологические системы дуба семенного и порослевого эволюционируют по разным законам, несмотря на тождественную биологическую природу. В этом и состоит основное качественное различие эволюции экосистем дубовых насаждений. Следует заметить, что качество древесины у них тоже различное, как подчеркивается во многих исследованиях [8]. Поэтому мы оставляем за параметром q ЭФМ значение индекса породы, аналогичное параметру r. В этом смысле порода дуба (*Quercus*) имеет две модификации: дуб семенного происхождения и дуб порослевого происхождения.

Значения следующих двух параметров m_∞ и N_∞ ЭФМ (пятые и шестые столбцы таблиц 1 и 2) определяются географией региона и для одного и того же бонитета могут сильно различаться, как и значения этих величин в начальный момент времени. Но в пределах одного региона наблюдается качественная закономерность – с увеличением бонитета параметр N_∞ монотонно возрастает, а параметр m_∞ монотонно уменьшатся.

Напоминаем, что все эти четыре параметра являются варьируемыми параметрами. Поэтому полученные закономерности демонстрируют важную особенность эколого-физиологических моделей – их параметры не только имеют строгий физический смысл, но в настоящем исследовании мы приходим к выводу о том, что параметры ЭФМ r и q к тому же имеют и четкий лесоводческий смысл – они являются индексами бонитета и породы насаждения.

В девятом столбце таблиц 1 и 2 даны значения t_{max} возраста древостоя в годах, при которых биомассы насаждений достигают максимума. Как сказано выше, t_{max} получены либо интерполяцией соответствующих ТХР (если максимальная величина достигается в возрасте, который приведен в соответствующей ТХР), либо аппроксимацией (если в ТХР не дан

интервал возрастов, при котором биомасса достигает максимального значения). Для аппроксимации используется значения биомассы для трех последних в таблице значений времен. В том случае, когда полученное t_{max} отличается от табличного значения больше чем на 3-4 табличного шага (как правило, это 10 лет), то эта ТХР не может быть использована для дальнейших расчетов. Таких случаев было не много, и результаты расчетов для большинства локальных ТХР, приведенных в монографиях В.А. Усольцева [9, 10] даны в таблицах 1 и 2. Отмечается хорошо известный факт, что порослевые насаждения достигают максимального значения биомассы значительно раньше, чем семенные.

В десятом. одиннадцатом и двенадцатом столбцах обеих таблиц приведены значения критерия Нэша-Сатклиффа, которые в большинстве случаев составили или 0,999, или 0,99, но не были меньше, чем 0,9. Это говорит о высокой точности воспроизведенных результатов для биомассы отдельного дерева, для числа стволов на гектар и общей биомассы насаждения. Если результаты расчета критерия Нэша-Сатклиффа составляют 0,999, то относительное отклонение значений соответствующих величин ($m(t)$, $N(t)$ и $M(t)$) от табличных не превышают 3% для всего диапазона их изменения. Если критерий Нэша-Сатклиффа составляет 0,99, то это отклонение не превышает 5%, за исключением случая малых возрастов. Такое согласие подтверждает суждение о том, что ЭФМ достигают точности «регрессивных» моделей [3].

Выводы

1. Следует заметить, что эколого-физиологическое моделирование динамики роста лиственных, в особенности дубовых, древостоев представляет собой достаточно сложную задачу, поэтому результаты представленной нами работы имеют важное значение не только в проблеме применимости ЭФМ для описания динамики лиственных насаждений, но и в возможности составления прогнозных таблиц хода роста для лиственных пород, о чем свидетельствуют полученные результаты.
2. Ранее на основании эколого-физиологической модели [5, 6] нами было показано, что широко используемая бонитетная шкала имеет термодинамическое обоснование. Настоящее исследование подтвердило высказанное в этих работах предположение. Это позволило нам назвать параметр модели r, имеющий смысл скорости расхода ресурса, индексом бонитета, параметр q, связывающий площадь и биомассу древостоя, индексом породы. Другими словами, параметры ЭФМ, имеющие ясный физический смысл, фактически доопределяют лесоводческие термины. Справедливо заметить, что определение параметра q для нормального древостоя порослевого дуба Центрального района Европейской России отличается от аналогичных значений, определенных по другим ТХР, подтверждая утверждение, что всякое правило имеет исключение. По нашему мнению, объяснение этому факту следует искать в биологической особенности произрастания этого насаждения.
3. Значения параметров m_∞ и N_∞ ЭФМ показывают их зависимость от географического положения насаждения. Параметр m_∞ для данного насаждения имеет монотонную зависимость от бонитета насаждения – чем выше бонитет, тем меньше значение этого параметра как для семенных, так и для порослевых насаждений. Зависимость значения параметра N_∞ от бонитета в основном также имеет монотонный характер – чем выше бонитет, тем больше значение этого параметра.
4. Точность воспроизведения величин $m(t)$, $N(t)$ и $M(t)$ сравнима с точностью «регрессивных» моделей, а достаточная математическая простота нашей ЭФМ позволяет надеяться на использование ее выводов в практическом лесоводстве.

Таким образом, в настоящей работе была подтверждена термодинамическая природа бонитетной шкалы, показано, что бонитет насаждения определяется индексом бонитета r, отличительная особенность семенного и порослевого насаждения дуба (*Quercus*) выражена в различной экосистемной эволюции этих модификаций и представлена в виде различных значений индекса породы q, что необходимо учитывать при возобновлении дубовых древостоев.

Исследование проведено в рамках работы по теме «Влияние условий произрастания древесной растительности на термодинамические характеристики древостоев», поддержанной локальным грантом ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» в 2025 г.

Список литературы

1.Бугаев В.А., Мусиевский А.Л. Дубравы лесостепи: монография. Воронеж : ФГБОУ ВО ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. 2013. 247 с. ISBN 978-5-7994-0559-5.

2. Кружилин С.Н. Лесоводственные модели роста и формирования Quercus robur в условиях черноземной зоны степи Юга России // World Ecology Journal. Vol. 8, Issue 3. С. 23-45.

3. Лебедев А.В. Динамическая модель роста и производительности сосновых древостоев (*Pinus sylvestris* L.) Унженской низменности // Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14, № 3 (55). С. 127-151. DOI: https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/8.

4. Лисицын В.И., Драпалюк М.В., Матвеев Н.Н. Моделирование динамики хода роста древостоев на основе термодинамического подхода // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2022. № 3 (387). С. 213-225. DOI: https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-213-225.

5. Лисицын В.И., Матвеев Н.Н., Евсикова Н.Ю., Камалова Н.С. Постоянство параметров эколого-физиологической модели при использовании таблиц хода роста как показателя особенностей динамики роста древостоев // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, 21-23 мая 2025 г. Санкт-Петербург. 2025. С. 184-187.

6. Лисицын В.И., Матвеев Н.Н., Евсикова Н.Ю., Камалова Н.С., Хворых А.М. Эколого-физиологическая модель динамики роста древостоев в свете использования местных (локальных) таблиц хода роста // Физические основы наукоемких технологий в современном мире : Материалы Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора В.В. Постникова, приуроченной к 95-летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Воронеж. 2025. С. 53-62.

7. Лисицын В.И., Матвеев Н.Н., Камалова Н.С., Евсикова Н.Ю., Внукова С.В. Применение эколого-физиологического моделирования для описания динамики роста дубовых древостоев // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, 24-26 мая 2023 г. Санкт-Петербург, 2023. С. 283-286.

8. Стороженко В.Г., Чеботарева В.В., Чеботарев П.А. Структура древостоев дуба естественного и искусственного происхождения при различных методах ухода в процессе их формирования в зоне лесостепи (на примере древостоев Теллермановского опытного лесничества ИЛАН РАН) // Лесной вестник. 2017. Т. 21, № 5. С. 33-38. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-33-38.

Усольцев В.А. Биомасса и первичная продукция лесов Евразии. Электронная база данных. 4-е дополненное издание. Монография. Екатеринбург: Ботанический сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет. 2023. ISBN 978-5-8295-0862-3. URL: https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452.

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург : Изд-во УрО РАН. 2002. 762 с. URL: http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3302.

11. Харченко Н.А., Харченко Н.Н. К вопросу о естественном возобновлении дуба черешчатого под пологом материнского древостоя // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 76. С. 299-311.

12. Kazimirović M., Stajić B., Petrović N., Ljubičić J., Košanin O., Hanewinkel M., Sperlich D. Dynamic height growth models for highly productive pedunculate oak (Quercus robur L.) stands:

explicit mapping of site index classification in Serbia // Annals of Forest Science. 2024. Vol. 81. Art. No. 15. DOI: https://doi.org/10.1186/s13595-024-01231-0.

13. Maleki K., Zeller L., Pretzsch H. Oak often needs to be promoted in mixed beech-oak stands - the structural processes behind competition and silvicultural management in mixed stands of European beech and sessile oak // iForest – Biogeosciences and Forestry. 2020. Vol. 13, Issue 2. P. 80-88. DOI: https://doi.org/10.3832/ifor3172-013.

14. Nash J.E., Sutcliffe J.V. Riverflow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles // J. Hydrology. 1970. Vol. 10, № 3. P. 282-290.

15. Uhl E., Biber P., Ulbricht M., Heym M., Horváth T., Lakatos F., Gál J., Steinacker L., Tonon G., Ventura M., Pretzsch H. Analysing the effect of stand density and site conditions on structure and growth of oak species using Nelder trials along an environmental gradient: experimental design, evaluation methods, and results // Forest Ecosystems. 2015. Vol. 2. Art. No. 17. DOI: 10.1186/s40663-015-0041-8.

References

1. Bugaev V.A., Musievsky A.L. Forest-steppe oak forests: monograph. Voronezh: FSBEI HE VSUFT named after G.F. Morozov. 2013. 247 p. ISBN 978-5-7994-0559-5.
2. Kruzhilin S.N. Silvicultural models of growth and formation of Quercus robur in the conditions of the chernozem zone of the steppe of the South of Russia // World Ecology Journal. Vol. 8, Issue 3. P. 23-45.
3. Lebedev A.V. Dynamic model of growth and productivity of pine stands (Pinus sylvestris L.) of the Unzha Lowland // Forestry Engineering Journal. 2024. Vol. 14, No. 3 (55). P. 127-151. DOI: https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/8.
4. Lisitsyn V.I., Drapalyuk M.V., Matveev N.N. Modeling the dynamics of tree stand growth based on the thermodynamic approach // Russian Forestry Journal. 2022. No. 3 (387). P. 213-225. DOI: https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-213-225.
5. Lisitsyn V.I., Matveev N.N., Evsikova N.Yu., Kamalova N.S. Constancy of the parameters of the ecological-physiological model when using growth progress tables as an indicator of the characteristics of the dynamics of tree stands // Forests of Russia: policy, industry, science, education: Proceedings of the IX All-Russian scientific and technical conference, May 21-23, 2025. St. Petersburg. 2025. P. 184-187.
6. Lisitsyn V.I., Matveev N.N., Evsikova N.Yu., Kamalova N.S., Khvorykh A.M. Ecological and physiological model of tree stand growth dynamics in light of the use of local growth progress tables // Physical foundations of science-intensive technologies in the modern world: Proceedings of the All-Russian scientific and methodological conference with international participation dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor V.V. Postnikov, timed to coincide with the 95th anniversary of VSUFT named after G.F. Morozov. Voronezh. 2025. P. 53-62.
7. Lisitsyn V.I., Matveev N.N., Kamalova N.S., Evsikova N.Yu., Vnukova S.V. Application of ecological and physiological modeling to describe the growth dynamics of oak stands // Forests of Russia: policy, industry, science, education: materials of the VIII All-Russian scientific and technical conference, May 24-26, 2023. St. Petersburg, 2023. P. 283-286.
8. Storozhenko V.G., Chebotareva V.V., Chebotarev P.A. Structure of oak stands of natural and artificial origin with different care methods during their formation in the forest-steppe zone (on the example of stands of the Tellermanovsky experimental forestry of the Institute of Forest Sciences of the Russian Academy of Sciences) // Forest Bulletin. 2017. Vol. 21, No. 5. P. 33-38. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-33-38.
9. Usol'tsev V.A. Biomass and primary production of Eurasian forests. Electronic database. 4th supplemented edition. Monograph. Ekaterinburg: Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural State Forest Engineering University. 2023. ISBN 978-5-8295-0862-3. URL: https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452.

10. Usol'tsev V.A. Phytomass of the forests of Northern Eurasia: standards and elements of geography. Ekaterinburg: Publishing house of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2002. 762 p. URL: http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3302.
11. Kharchenko N.A., Kharchenko N.N. On the issue of natural regeneration of common oak under the canopy of the parent forest stand // Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2012. No. 76. P. 299-311.
12. Kazimirović M., Stajić B., Petrović N., Ljubičić J., Košanin O., Hanewinkel M., Sperlich D. Dynamic height growth models for highly productive pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands: explicit mapping of site index classification in Serbia // Annals of Forest Science. 2024. Vol. 81. Art. No. 15. DOI: https://doi.org/10.1186/s13595-024-01231-0.
13. Maleki K., Zeller L., Pretzsch H. Oak often needs to be promoted in mixed beech-oak stands - the structural processes behind competition and silvicultural management in mixed stands of European beech and sessile oak // iForest – Biogeosciences and Forestry. 2020. Vol. 13, Issue 2. P. 80-88. DOI: https://doi.org/10.3832/ifor3172-013.
14. Nash J.E., Sutcliffe J.V. Riverflow forecasting through conceptual models' part I – A discussion of principles // J. Hydrology. 1970. Vol. 10, № 3. P. 282-290.
15. Uhl E., Biber P., Ulbricht M., Heym M., Horváth T., Lakatos F., Gál J., Steinacker L., Tonon G., Ventura M., Pretzsch H. Analysing the effect of stand density and site conditions on structure and growth of oak species using Nelder trials along an environmental gradient: experimental design, evaluation methods, and results // Forest Ecosystems. 2015. Vol. 2. Art. No. 17. DOI: 10.1186/s40663-015-0041-8.

DOI: 10.58168/Forestry2025_100-106
УДК 58.006

ЕСТЕСТВЕННЫЙ АРЕАЛ И ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗРАСТАНИЯ JUNIPERUS EXCELSA BIEB. НА ЮГЕ РОССИИ

Н.А. Макаров, В.В. Папельбу
Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН, г. Ялта, Россия

Аннотация. *Juniperus excelsa* M. Bieb. – реликт третичного периода, представитель древней восточно-средиземноморской растительности. Вид растёт преимущественно в эрозионных элементах ландшафта выполняя важные почвозащитные и средоообразующие функции, однако в настоящее время испытывает сокращение ареала. В статье представлены результаты исследования анализа территориального распределения и особенностей произрастания природных насаждений *J. excelsa* на Юге России. Показана тенденция к аридизации климата в районах произрастания. Отмечено, что значительная часть природных насаждений *J. excelsa* входит в состав особо охраняемых природных территорий, однако территории полуострова «Абрау», а также горных массивов «Кизил-Таш» и реки «Кутлак» с насаждениями *J. excelsa* не наделены природоохранным статусом. Материалы статьи могут быть использованы для разработки мер по сохранению и восстановлению популяций J. *excelsa* на Юге России.

Ключевые слова: *Juniperus excelsa* M. Bieb., реликт, ареал, можжевеловые редколесья, климатические изменения, восточно-средиземноморская растительность, Юг России.

NATURAL RANGE AND GROWING CHARACTERISTICS *JUNIPERUS EXCELSA* BIEB. IN THE SOUTH OF RUSSIA

N.A. Makarov, V.V. Papelbu

Junior Researcher, Forestry Laboratory Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia

Abstract. *Juniperus excelsa* M. Bieb., is a relict of the Tertiary period, a representative of the ancient Eastern Mediterranean vegetation. The species mainly grows in erosional landscape elements (watersheds, rocks, screes), performing important soil-protecting and habitat-forming functions, but is currently experiencing a reduction in range due to anthropogenic pressure and climate change. The article presents the results of a study of the territorial distribution and growth characteristics of natural plantings of *J. excelsa* in the south of Russia. A tendency towards climate aridization in the areas of growth, an increase in average annual temperatures and a decrease in precipitation has been revealed, which poses a threat to the sustainability of species populations. It is noted that a significant part of natural plantings of *J. excelsa* are part of specially protected natural areas of varying importance, but large tracts of the Abrau Peninsula and the Kizil Tash mountain range do not have conservation status. The materials of the article can be used to develop measures for the conservation and restoration of *J. excelsa* populations in the South of Russia.

Key words: *Juniperus excelsa* M. Bieb., relict, habitat, juniper sparse forests, climate change

Можжевельник высокий *Juniperus excelsa* M. Bieb., - реликт третичного периода, представляет собой остатки древней восточно-средиземноморской растительности [9,2]. Произрастает преимущественно на эрозионных элементах ландшафта, таких как водоразделы, скалы и осыпи [5]. Вид играет важную почвозащитную роль, является лесообразующей породой. Выполняет ландшафтаобразующую функцию [12]. Выступает важнейшим

© Макаров Н. А., Папельбу В. В., 2025

компонентом биогеоценозов. Ареал произрастания вида приурочен к Восточному Средиземноморью, распространен на Балканском полуострове, в Малой Азии, Западном Закавказье и в Горном Крыму [4,14].

В настоящее время во многих регионах произрастания *J. excelsa*, наблюдается сокращение площади его природных насаждений. Основной причиной этого считается: низкая семенная продуктивность и антропогенный прессинг [7,14].

На Юге России, где проходит северная граница ареала *J. excelsa* произрастает фрагментарно, вдоль черноморского побережья Северо-Западного Кавказа и Крыма. Вид включен в Красные книги Российской Федерации, города Севастополя, Республики Крым и Краснодарского края, в статусе «сокращающийся в численности» [7].

Негативное влияние антропогенного давления на среду обитания усугубляет тенденцию к уменьшению численности и сужению естественного ареала *J. excelsa,* в свою очередь флуктуация климатических факторов, амплитуда осцилляции которых во многих регионах существенно превышает средние многолетние значения, также определяет негативные тенденции трансформации условий произрастания, что повышает риски существования растений коренных формаций и может привести к необратимым изменениям в уникальных природных комплексах Юга России [5]. Изучение ареала, зонального распространения и климатического режима районов произрастания краевых популяций *J. excelsa* является актуальной задачей, это даст возможность установить закономерности влияния климатических изменений на распространение вида в целом.

Цель работы: провести анализ территориального распределения и особенностей произрастания можжевельника на Юге России

На Юге Росси ареал *J. excelsa* имеет разорванное (дизъюнктивное) строение. Природные насаждения *J. excelsa* фрагментарно произрастают в Краснодарском крае, встречается от Геленджика (окрестности реки Мезыби) до Анапы (долина реки Сукко) [2,7], а также в Горном Крыму на восточном склоне горы «Чатыр-Даг» и вдоль Южного Берега Крыма, от горы Карадаг до мыса Айя, с наиболее крупным масивами и наивысшей точкой произрастания в Байдарской долие [7,12] (рис.1).

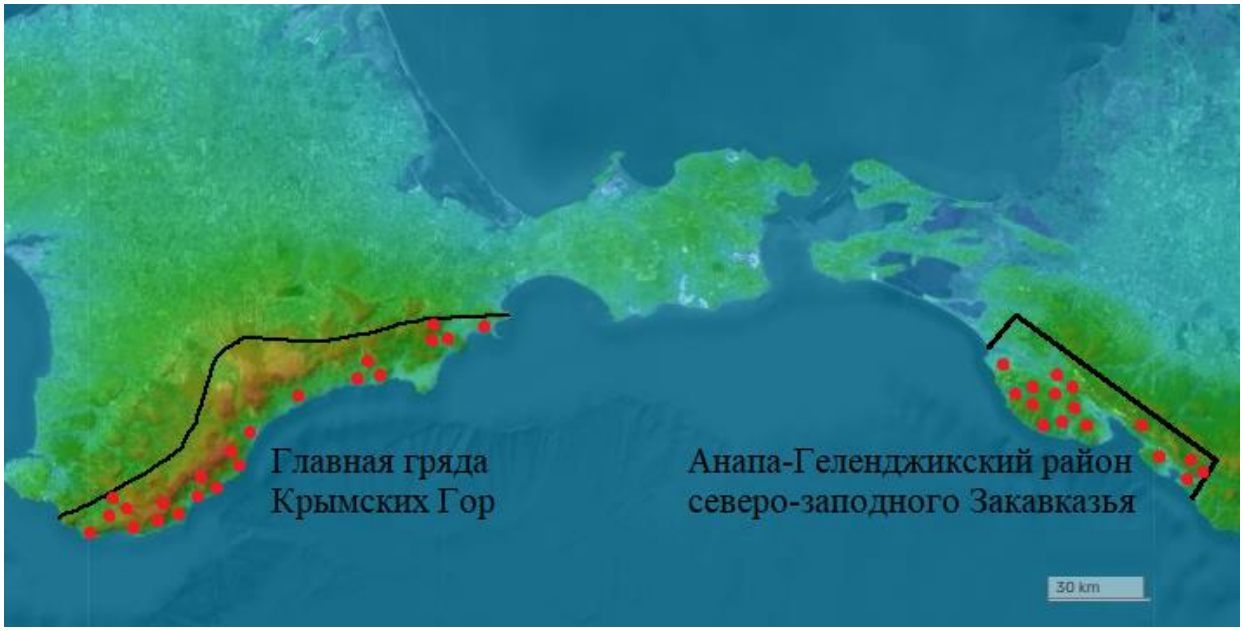


Рисунок 1. Ареала *J.* excelsa Юге России

J. excelsa представляет собой однодомное дерево до 15 м высоты, с пирамидальной или яйцевидной кроной. Побеги 0,5-0,7 миллиметров толщиной, округлые, сизо-зеленые. Формируют группировки типа ксерофитных аридных редколесий, находящихся на северной

границе ареала, произрастает в составе с *Quercus pubescens* Willd., *Pistacia multica* Fisch. и *Carpinus orientalis* Mill [6,12,13].

Встречается на разных типах горных пород, как на карбонатных (юрские известняки, известняковые конгломераты), так и бескарбонатных (эффузивные и интрузивные магматические породы. Основная масса природных насаждений произрастает на участках со сложными эдафо-орографическими условиями, с уклоном от 25 °, где конкуренция со стороны других видов практически отсутствует. Сомкнутость насаждений варьирует от 0,3 до 0,6. [6,10,12,13].

По имеющимся данным приблизительная площадь произрастания *J. excelsa* на Юге России, представлена небольшим географическим ареалом и составляет менее 7300га. [7,12].

В Высотном плане диапазон произрастания *J. excelsa* на Юге России вирируется в пределах 5-500 метров, а в некоторых районах достигает 650-1000 метров, наиболее высотные насаждения находятся в Горном Крыму [9,12].

Анализ насаждений верхних участков гор (рис. 2) представляет особый интерес для понимания влияния высотной поясности на вертикальный ареал данного вида. Районирование горных территорий проводиться с учетом геоморфологии региона, современного состояния растительного покрова, а также истории его формирования. Географическая приуроченность ареала к определённой зоне или региону является важной задачей при изучении вида.

Рисунок 2. Природные насаждения *J. excelsa* Горный массив «Кизил-Таш». Главная гряды Крымских гор

Кавказ и Горный Крым являются единой физико-географической страной, но несколько разъединены территориально. Ареал *J. excelsa* с юго-восточной стороны приурочен к Анапа-Геленджикскому району Северо-Западного Закавказья, далее переходит на Южный, местами Северный макросклон Главной гряды Крымских гор [1] (Рисунок 2).

Через территорию Крымско-Кавказской горной страны проходит граница умеренного и субтропического климатических поясов. В субтропический пояс входит южный склон Большого Кавказа и все остальное Закавказье, а также Южный берег Крыма, который считается северо-восточной окраиной области средиземноморского субтропического климата. [1,10]

Данные территории относят к молодой подвижной кайнозойской складчатой зоне или альпийской геосинклинальной области, простирающейся широким поясом через всю Южную Европу и Азию. Свойствен восточно-средиземноморский тип высотной зональности. С

типичными для него ксерофитными древесными и кустарниковыми (шибляк) зарослями и можжевеловым редколесьями в нижней поясе [10,13].

Анапа-Геленджикский район является северо-западной периферией Северо-Западного Закавказья, к региону относится отрезок побережья между Чёрным морем и южным обрывом Большого Кавказа. Занимает сектор территории между поселком Джанхот и городом Анапой.

Крымские горы простираются вдоль черноморского побережья от Севастополя до Феодосии. Состоят из трех горных гряд, разделенных продольными понижениями. Главная гряда Крымских гор проходит от района Балаклавы на западе и до мыса Ильи на востоке. Южный макросклон возвышается над Южным берегом отвесными известняковыми обрывами, в свою очередь северные склоны ее относительно пологие [11].

Территории произрастания *J. excelsa* сокращаются, зачастую это связано с высокой антропогенной нагрузкой. Основной задачей сохранение видов с сокращающейся численностью, наряду с изучением его биоэкологических особенностей, является придание территориям произрастания природоохранных статусов [22].

Таблица 1. Основные территории произрастания *J. excelsa* на Юге России.

№	Название территорий	Значение
1	Природный парк "Маркотх"	Особо охраняемой природной территории регионального значения.
2	Заказник «Абраусский»	Государственный природный комплексный заказник регионального значения.
3	Природные насаждения «полуострова Абрау»	Частично не имеют природоохранного статуса.
4	Природный парк «Большой Утриш»	Особо охраняемая природная территория федерального значения.
5	Прибрежный природный комплекс «Анапское взморье»	Особо охраняемой природной территории регионального значения.
6	Заказник «Мыс Песчаный»	Государственный природный заказник регионального значения.
7	«Карадагский государственный природный заповедник»	Особо охраняемая природная территория федерального значения.
8	Горный массив «Кизил-Таш»	Не имеет природоохранного статуса.
9	Ботанический заказник «Новый Свет»	Особо охраняемой природной территории регионального значения.
11	Природные насаждения горных массивов долины реки «Кутлак» (Судакский район)	Не имеет природоохранного статуса.
12	Заказник «Папая-кая»	Государственный природный заказник регионального значения.
13	Заказник «Канака»	Особо охраняемая природная территория регионального значения.
14	«Роща можжевельника высокого в районе Семидворья»	Памятника природы регионального значения.
15	Национальный парк «Крымский»	Особо охраняемая природная территория федерального значения.
16	"Урочище Парагильмен»	Государственный природный заказник регионального значения.
17	Природный парк «Мыс Мартьян»	Особо охраняемая природная территория регионального значения.

18	Государственный природный заповедник «Ялтинский горно-лесной»	Особо охраняемая природная территория федерального значения.
19	«Гора Крестовая»	Памятника природы регионального значения.
20	«Гора Кошка»	Памятника природы регионального значения.
21	Государственный природный ландшафтный заказник «Ласпи»	Особо охраняемая природная территория регионального значения.
22	Государственный природный ландшафтный заказник "Мыс Айя"	Особо охраняемая природная территория регионального значения.
23	Государственный природный заказник «Байдарский»	Особо охраняемая природная территория регионального значения.

Из данных таблицы 1 видно, что значительная часть территорий произрастания *J. excelsa* имеют природоохранных статус, 16 особо охраняемых природных территорий регионального значения и 4 территории федерального значения.

Отмечено, что значительные территории полуострова «Абрау», а также горных массивов «Кизил-Таш» и реки «Кутлак», где произрастает *J. excelsa* не наделены природоохранным статусом. Однако данные территории имеют важное значение для сохранения биоразнообразия уникальных природных комплексов Юга России, с точки зрения охраны и поддержания местообитаний редких и исчезающих видов, их следует отнести в природно-заповедный фонд, так как естественный растительный покров данных территорий богат редкими и ценными элементами флоры [8,9].

Изменение климатических условий имеет непосредственное влияние на вид, и влекут за собой изменение в структуре его ареала. В ходе работы, с применение данных метеорологических станций Севастополь, Ялта, Феодосия, Анапа, Геленджик, были проанализированы средние многолетние, показатели температурного режима и количества осадков в районах произрастания *J. excelsa* на Юге России [15]. (таб. 2).

Таблица 2. Климатические условия районов произрастания *Juniperus excelsa* M. Bieb.

Показатели температуры воздуха, °С.					
	Геленджик	Анапа	Феодосия	Ялта	Севастополь
Среднегодовые многолетние (2004-2024гг.)	14,9	13,9	12,9	14,6	13,7
Среднегодовые 2024г.	16,5	15,4	15,1	16,2	15,1
Показатели выпавших осадков, мм/год.					
Среднегодовые многолетние (2004-2024гг.)	664	597	443	580	363
Среднегодовые 2024г.	620	565	391	602	294

Установлено, что наиболее низкие показатели температуры наблюдается в Феодосии 12,9 С°. Наблюдается тенденция снижения выпавших осадков от Геленджика (664 миллиметров в год) до Севастополя (363 миллиметров в год). В целом при анализе климатических условий районов произрастания, отмечена тенденция увеличение показателей температурного режима и снижение количества выпавших осадков. Природные насаждения Юга России являются важнейшим ресурсом, который, с учетом его рекреационного потенциала, имеет не только региональное, но и федеральное значение, а исчезновение отдельных видов растений может привести к необратимым процессам трансформации растительных сообществ, к их частичному или полному разрушению.

Список литературы

1. Гвоздецкий, Н. А. Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Москва: Изд-во Высшая школа, 1986. 376 с.

2. Киричок Е. И. Онтогенез можжевельника высокого (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) в редколесьях Черноморского побережья Крыма и Кавказа // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2016. Т. 1, N 3.

3. Иванов, Е. С. Экология и охрана природы: учебник для вузов / 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2019. 247 с.

4. Коба, В. П. Проблемы охраны насаждений *Juniperus excelsa* M. Bieb. Южного берега Крыма // Актуальные проблемы урболесоведения: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 95-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Л.П. Рысина, Москва, 17-18 апреля 2024 года. Москва: Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН, 2024. С. 116-120. doi 10.35102/cbg.2024.24.98.024.

5. Коба, В. П., Макаров Н.А. Фенология пыления *Juniperus excelsa* M. Bieb. в условиях Горного Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2024. N 153. С. 7-12.

6. Колесников, А. И. Лесоводственно-дендрологическое исследование Черноморского побережья Кавказа. Очерк первый: Анапа – Новороссийск // Труды Абхазской научно-исследовательскойлесной опытной станции. Москва. 1966. Вып. 2. С. 19-186.

7. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [и др.]; отв. ред. д-р биол. наук Д. В. Гельтман. 2-е офиц. изд. Москва: ВНИИ «Экология», 2024. 944 с.

8. Кузнецова, Е. И. Можжевеловые леса и редколесья полуострова Абрау (Северо-Западный Кавказ) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2009. N 2. С. 76-80.

9. Кузнецов М.Е. Оценка состояния популяций можжевельника высокого *Juniperus excelsa* Bieb. природно-заповедного фонда региона Юго-восточного Крыма // Карадаг-2009. Сб. научных трудов, посвященный 95-летию Карадагской научной станции и 30-летию Карадагского природного заповедника НАН Украины. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. - С. 109 - 112.

10. Малеев, В. П. Растительность причерноморских стран (Эвксинской провинции Средиземноморья), её происхождение и связи / Труды Ботанического института им. В. Л. Комарова АН СССР. Серия 3: Геоботаника. 1940. Вып. 4. С. 135-249.

11. Подгородецкий П. Д. Крым: Природа // Справ. изд., Симферополь: Таврия. 1988. 192 с.

12. Плугатарь, Ю. В. Леса Крыма. Ялта: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2015. 368 с. ISBN 978-5-9906366-5-1.

13. Станков, С. С. О нагорных ксерофитах Южного Крыма в связи с географической изменчивостью можжевеловых лесов между Ласпи и Карадагом // Ботанический журнал. 1939. Т. 24 (5-6). С. 518-527.

14. Abdullah-Al-Refai, El-Kateb, H., Stimm, B., Mosandl, R., Quality and Germination of Seeds of *Juniperus excelsa* M. Bieb. in the Kalamoun Mountains. // Munchen: Forstliche Forschungsberichte. 2003. Vol. 192. P. 164-175.

15. Погода и Климат. URL: http://www.pogodaiklimat.ru (дата обращения 20.07.2025)

References

1. Gvozdetsky, N. A. Physical geography of the USSR. A general overview. The European part of the USSR. Moscow: Higher School Publishing House, 1986. 376 p.

2. Kirichok E. I. Ontogenesis of the tall juniper (Juniperus excelsa M. Bieb.) in the sparse forests of the Black Sea coast of Crimea and the Caucasus // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2016. Vol. 1, No. 3.

3. Ivanov, E. S. Ecology and nature protection: a textbook for universities / 2nd ed., ispr. and add. Moscow: Yurait Publishing House, 2019. 247 p.

4. Koba, V. P. Problems of protection of Juniperus excelsa M. Bieb plantings. South Coast of Crimea // Actual problems of urban studies: Collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation dedicated to the 95th anniversary of the birth of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences L.P. Rysin, Moscow, April 17-18, 2024. Moscow: N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, 2024. pp. 116-120. doi 10.35102/cbg.2024.24.98.024.

5. Koba, V. P., Makarov N.A. Phenology of dusting of Juniperus excelsa M. Bieb. in the conditions of the Mountainous Crimea // Bulletin of the Nikitsky State Botanical Garden. 2024. N 153. pp. 7-12.

6. Kolesnikov, A. I. Forestry and dendrological research of the Black Sea coast of the Caucasus. The first essay: Anapa – Novorossiysk // Proceedings of the Abkhazian Scientific Research Forest Experimental Station. Moscow. 1966. Issue. 2. Pp. 19-186.

7. The Red Book of the Russian Federation. Plants and fungi / The Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation [et al.]; ed. Doctor of Biology D. V. Geltman. 2nd official ed. Moscow: VNII Ekologiya, 2024. 944 p.

8. Kuznetsova, E. I. Juniper forests and woodlands of the Abrau Peninsula (North-Western Caucasus) // Bulletin of the Moscow University. Episode 5: Geography. 2009. N 2. pp. 76-80.

9. Kuznetsov M.E. Assessment of the state of populations of juniper Juniperus excelsa Bieb. Nature Reserve Fund of the Southeastern Crimea region // Karadag-2009. Collection of scientific papers dedicated to the 95th anniversary of the Karadag Scientific Station and the 30th anniversary of the Karadag Nature Reserve of the National Academy of Sciences of Ukraine. Sevastopol: ECOSI-Hydrophysics, 2009. pp. 109-111.

10. Maleev, V. P. Vegetation of the Black Sea countries (Euxine province of the Mediterranean), its origin and connections / Proceedings of the V. L. Komarov Botanical Institute of the USSR Academy of Sciences. Series 3: Geobotany. 1940. Issue 4. pp. 135-249.

11. Podgorodetsky P. D. Crimea: Nature // Reference ed., Simferopol: Tavria. 1988. 192 p.

12. Plugatar, Yu. V. Forests of the Crimea. Yalta: Limited Liability Company "Publishing House Printing House "Arial", 2015. 368 p. ISBN 978-5-9906366-5-1.

13. Stankov, S. S. On upland xerophytes of the Southern Crimea in connection with the geographical variability of juniper forests between Laspi and Karadag // Botanical Journal. 1939. Vol. 24 (5-6). pp. 518-527.

14. Abdullah-Al-Refai, El-Kateb, H., Stimm, B., Mosandl, R., Quality and Germination of Seeds of Juniperus excelsa M. Bieb. in the Kalamoun Mountains. // Munchen: Forstliche Forschungsberichte. 2003. Vol. 192. P. 164-175.

15. Pogoda i Klimat. URL: http://www.pogodaiklimat.ru (accessed 07/20/2025)

DOI: 10.58168/Forestry2025_107-114
УДК 634 033:631.535

ПРИЖИВАЕМОСТЬ И СОХРАННОСТЬ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕСНИЧЕСТВАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В.И. Малышева[1,2]

[1] младший научный сотрудник, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», Воронеж
[2] аспирант кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО *«Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия*

Аннотация

В научной статье рассмотрены вопросы лесовосстановительных мероприятий, проводимых в лесничествах Воронежской области. Приведены данные по общим объемам посадки лесных культур в рамках выполнения государственного задания по воспроизводству лесов за период 2021-2025 гг. сеянцами с открытой и закрытой корневой системой. Представлены результаты обследования пробных площадей в лесных культурах сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой, заложенных в лесничествах Воронежской области.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, закрытая корневая система, открытая корневая система, лесовосстановление, лесничество, типы леса, типы лесорастительных условий, приживаемость, сохранность.

SURVIVAL RATE AND PRESERVATION OF SCOTS PINE FOREST PLANTATIONS IN THE FOREST DISTRICTS OF VORONEZH REGION

Malysheva V.I.[1,2]

[1]Junior researcher All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Voronezh
[2]Post-graduate student of the Department of forest of forestry, forest taxation and forest management
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract

This article examines forest reproduction practices in the Voronezh Region’s forest districts. It presents data on the total volume of forest plantations established from 2021 to 2025 under state forest reproduction programs, focusing on seedlings with open and closed root systems. The study evaluates test plots of Scots pine plantations with both root systems across the region’s forest districts.

Keywords: scots pine, closed root system, open root system, forest reproduction, forest district, forest types, growth conditions, survival rate, preservation.

© Малышева В. И., 2025

Введение

Создавая искусственные леса, необходимо учитывать характеристику природных условий, целевое назначение лесов, основные лесообразующие породы, категории лесокультурных площадей, метод и способ производства лесных культур, густоту посадки, схемы смешения пород, посадочный материал, и объемы посадки в целом.

В лесничествах Воронежской области в рамках выполнения государственного задания по воспроизводству лесов ежегодно производится посадка лесных культур на площади не менее 1000 га, в том числе сеянцами с закрытой корневой системой (далее – ЗКС). Объем посадки сеянцами с ЗКС составляет не менее 300 га. Потребность в сеянцах этой категории при этом – 1,0 млн. шт. Правила лесовосстановления регламентируют густоту посадки не менее 2,0 тыс. шт. на 1 га. Для Воронежской области этот показатель составляет – 2,3-3,3 тыс. шт. на 1 га. Лесовосстановительные мероприятия сеянцами с открытой корневой системой (далее – ОКС) проводятся с первоначальной густотой посадки 4,4 тыс. шт. на 1 га.

Цель исследования состоит в определении объемов лесовосстановительных мероприятий и оценки приживаемости и сохранности искусственно созданных насаждений с принятой первоначальной густотой посадки для оптимального определения площади питания, а также использования почвенного потенциала в конкретных типах лесорастительных условий.

Материалы и методы исследования

Лесничества Воронежской области относятся к лесостепной зоне, лесостепному району, а также к степной зоне, району степей европейской части Российской Федерации. [2]. Лесовосстановительные мероприятия планируются с использованием сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) с ЗКС, как основной лесообразующей породы на территории Воронежской области [8].

Согласно правил лесовосстановления, начиная с 2025 г., не менее 30 % площадей искусственного и комбинированного лесовосстановления выполняется посадкой сеянцев с ЗКС. Исключение составляют степные зоны, зоны полупустынь и пустынь [6]. Использование сеянцев с ЗКС до 2024 г. включительно было регламентировано минимальным объемом 20%.

Площадь лесовосстановительных мероприятий в лесничествах Воронежской области (согласно доведенного государственного задания) ежегодно за период 2021-2025 гг. составляет 1000,0-1318,0 га, в том числе сеянцами с ЗКС – 265,26-353,28 га. При этом объемы лесовосстановления, выполненные сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС составляют – 23,1-33,7% (табл. 1).

Таблица 1. Объемы лесовосстановления в лесничествах Воронежской области за период 2021-2025 гг. (в рамках выполнения государственного задания)

№ п/п	Лесничество	Площадь лесовосстановления, га									
		2021 г.		2022 г.		2023 г.		2024 г.		2025 г.	
		ОКС	ЗКС	ОКС	ЗКС	ОКС	ЗКС	ОКС	ЗКС	ОКС	ЗКС
1	Бобровское	-	-	71,2	-	10,0	25,7	0	17,7	-	-
2	Богучарское	8,0	-	12,4	-	12,9	-	9,5	-	10,4	-
3	Бутурлиновское	12,7	-	19,59	-	19,6	-	6,0	-	4,3	-
4	Воронежское	-	13,4	-	11,8	-	16,2	0	3,1	-	1,8
5	Давыдовское	221,96	87,44	181,28	198,72	353,9	118,2	408,66	156,96	360,32	205,3
6	Донское	341,1	-	278,91	-	260,3	-	182,84	-	121,9	-

7	Кантемировское	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Новоусманское	7,52	92,48	-	40,6	20,2	82,2	0	38,0	-	5,0
9	Новохоперское	70,0	30,0	120,0	-	123,0	-	206,7	-	57,4	-
10	Острогожское	2,2	-	6,2	-	3,2	-	0	3,2	-	-
11	Песковское	-	13,0	-	13,0	-	16,0	0	36,04	-	13,0
12	Павловское	47,8	-	25,2	54,6	102,6	-	97,4	-	84,7	-
13	Россошанское	-	-	-	-	-	0,9	-	-	2,7	-
14	Савальское	67,3	-	32,2	-	34,3	-	26,7	24,8	14,8	38,7
15	Сомовское	-	10,0	-	10,0	-	15,8	0	10,0	-	10,0
16	Семилукское	7,5	5,44	2,84	4,26	0,52	0,78	0,52	3,28	-	1,3
17	Теллермановское	66,2	-	92,0	-	66,4	-	64,2	-	5,98	41,0
18	Хреновское	-	13,5	-	20,3	-	28,7	-	16,4	-	21,4
19	Эртильское	9,1	-	4,9	-	6,0	-	6,0	-	-	-
Итого:		866,48	265,26	846,72	353,28	1012,92	304,48	1008,52	309,48	662,5	337,5
Общий объем, га		1131,74		1200,0		1317,4		1318,0		1000,0	
Доля ЗКС, %		23,4		29,4		23,1		23,5		33,7	

Закладка пробных площадей для определения площади питания, приживаемости и сохранности лесных культур сосны обыкновенной, созданных стандартными сеянцами сосны обыкновенной с ОКС двухлетнего возраста, а также сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС однолетнего возраста, произведена в следующих лесничествах:

1. Пробные площади №1-5. Давыдовское лесничество, Давыдовское участковое лесничество, квартал 30, 59, 46, 50, 35. Лесничество расположено в западной части Воронежской области. Общая площадь лесничества – 31676 га. [3]. Территория лесничества относится к лесостепной зоне, лесостепному району европейской части Российской Федерации. [2]

2. Пробные площади №6-10. Новохоперское лесничество, Новохоперское участковое лесничество, квартал 30, 33, 16, 12, 13. Лесничество расположено в восточной части Воронежской области. Общая площадь лесничества – 23625 га. [4]. Территория лесничества (Новохоперское участковое лесничество) относится к степной зоне, району степей европейской части Российской Федерации [2]

3. Пробные площади №11-20. Новоусманское лесничество, Новоусманское участковое лесничество, квартал 150, 155, 159, 154, 163, 162, 161, 164, 165. Лесничество расположено в северо-западной части Воронежской области. Общая площадь лесничества – 22753 га. [5]. Территория Новоусманского лесничества относится к лесостепной зоне, лесостепному району европейской части Российской Федерации. [2]

Основной целевой породой при создании лесных культур в типах леса сосняк травяной (СТР), сосняк травяной с дубом (ССРТ), в типах лесорастительных условий бор сухой ($А_1$), бор свежий ($А_2$), суборь свежая ($В_2$), является сосна обыкновенная [3-5].

Стандартный посадочный материал (сеянцы сосны обыкновенной с ОКС), используемый для целей лесовосстановления должен соответствовать следующим критериям: возраст – не менее 2-х лет; диаметр ствола у корневой шейки – не менее 3,0 мм; высота стволика – не менее 10,0 см). Стандартный посадочный материал (сеянцы сосны

обыкновенной с ЗКС) используемый для целей лесовосстановления должен соответствовать следующим критериям: возраст – не менее 1-2-х лет; диаметр ствола у корневой шейки – не менее 2,0 мм; высота стволика – не менее 8,0 см). [6].

Результаты исследования и их обсуждение

За период исследования лесовосстановительных мероприятий 2021-2025 гг. посадка леса с использованием посадочного материала с ЗКС составляет 1570 га, при общем объеме искусственного лесовосстановления 5967,14 га. За пятилетний период в среднем по лесничествам этот показатель равен 37,8%. Ежегодный объем площадей лесовосстановления с использованием сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС составляет 265,26-353,28 га.

Таблица 2. Объемы лесовосстановления сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС в лесничествах Воронежской области за период 2021-2025 гг. (в рамках выполнения государственного задания)

№ п/п	Лесничество	Площадь лесовосстановления сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС, га					Объем посадки за период 2021-2025 гг.		
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	общий объем, га	ЗКС	
								га	%
1	Бобровское	-	-	25,7	17,7	-	124,6	43,4	34,8
2	Богучарское	-	-	-	-	-	53,2	-	-
3	Бутурлиновское	-	-	-	-	-	62,19	-	-
4	Воронежское	13,4	11,8	16,2	3,1	1,8	46,3	46,3	100
5	Давыдовское	87,44	198,72	118,2	156,96	205,3	2292,74	766,62	33,4
6	Донское	-	-	-	-	-	1185,05	-	-
7	Кантемировское	-	-	-	-	-	5,1	-	-
8	Новоусманское	92,48	40,6	82,2	38,0	5,0	286,0	258,28	90,3
9	Новохоперское	30,0	-	-	-	-	607,1	30,0	4,9
10	Острогожское	-	-	-	3,2	-	14,8	3,2	21,6
11	Песковское	13,0	13,0	16,0	36,04	13,0	91,04	91,04	100
12	Павловское	-	54,6	-	-	-	412,3	54,6	13,2
13	Россошанское	-	-	0,9	-	-	3,6	0,9	25,0
14	Савальское	-	-	-	24,8	38,7	238,8	63,5	26,6
15	Сомовское	10,0	10,0	15,8	10,0	10,0	55,8	55,8	100
16	Семилукское	5,44	4,26	0,78	3,28	1,3	26,44	15,06	57,0
17	Теллермановское	-	-	-	-	41,0	335,78	41,0	12,2
18	Хреновское	13,5	20,3	28,7	16,4	21,4	100,3	100,3	100
19	Эртильское	-	-	-	-	-	26,0	-	-
Итого:		265,26	353,28	304,48	309,48	337,5	5967,14	1570,0	37,8

Наибольший объем посадки лесных культур сеянцами с ЗКС приходится на Давыдовское лесничество (766,62 га – 33,4%) и Новоусманское лесничество (258,28 га – 90,3%). Данные лесничества расположены в лесостепной зоне, лесостепном районе европейской части Российской Федерации (табл. 2).

Объемы посадки лесных культур сеянцами сосны обыкновенной с ОКС и ЗКС за период 2021-2025 гг. в разрезе лесничеств представлены в табл. 3. Процентное соотношение использования сеянцев сосны обыкновенной с ОКС и ЗКС за данный период приведено в табл. 4.

Таблица 3. Объемы лесовосстановления сеянцами сосны обыкновенной с ОКС и ЗКС в Давыдовском, Новохоперском и Новоусманском лесничествах Воронежской области за период 2021-2025 гг. (в рамках выполнения государственного задания)

№ п/п	Лесничество	Площадь лесовосстановления, га									
		2021 г.		2022 г.		2023 г.		2024 г.		2025 г.	
		ОКС	ЗКС	ОКС	ЗКС	ОКС	ЗКС	ОКС	ЗКС	ОКС	ЗКС
1	Давыдовское	221,96	87,44	181,28	198,72	353,9	118,2	408,66	156,96	360,32	205,3
2	Новохоперское	70,0	30,0	120,0	-	123,0	-	206,7	-	57,4	-
3	Новоусманское	7,52	92,48	-	40,6	20,2	82,2	-	38,0	-	5,0
Итого:		299,48	209,92	301,28	239,32	497,1	200,4	615,36	194,96	417,72	210,3
Общий объем, га		509,4		540,6		697,5		810,32		628,02	

Таблица 4. Объемы лесовосстановления сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС в Давыдовском, Новохоперском и Новоусманском лесничествах Воронежской области за период 2021-2025 гг. (в рамках выполнения государственного задания)

№ п/п	Лесничество	Площадь лесовосстановления сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС, га					Общий объем посадки 2021-2025 гг, га	Объем посадки за период 2021-2025 гг.			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.		ОКС		ЗКС	
								га	%	га	%
1	Давыдовское	87,44	198,72	118,2	156,96	205,3	2292,74	1526,12	66,6	766,62	33,4
2	Новохоперское	30,0	-	-	-	-	607,1	577,1	95,1	30,0	4,9
3	Новоусманское	92,48	40,6	82,2	38,0	5,0	286,0	27,72	9,7	258,28	90,3
Итого:		209,92	239,32	200,4	194,96	210,3	3185,84	2130,94	66,9	1054,9	33,1

Новохоперским лесничеством (степная зона, район степей европейской части Российской Федерации) в 2021 г. была произведена посадка сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС на площади 30,0 га. При проведении осенней инвентаризации [7] была выявлена очень низкая приживаемость (менее 25,0 %) и впоследствии культуры были полностью списаны.

Приживаемость и сохранность лесных культур в Давыдовском, Новохоперском и Новоусманском лесничествах Воронежской области представлены в табл. 5.

Приживаемость и сохранность лесных культур сосны обыкновенной, созданных сеянцами с ЗКС и сеянцами с ОКС зависит в первую очередь от первоначальной густоты посадки, размещения посадочных мест и площади питания деревьев в конкретных типах леса и типах лесорастительных условий.

Приживаемость лесных культур – это величина, определяемая отношением числа посадочных или посевных мест, занятых деревьями и кустарниками культивируемых пород, к общему числу учтенных посадочных или посевных мест, согласно акта технической приемки, выраженная в процентах. [1]

Сохранность лесных культур – это величина, определяемая отношением площади жизнеспособных лесных культур к общей площади лесных культур, заложенных за определенный период, выраженная в процентах. [1]

Таблица 5. Характеристика пробных площадей, заложенных в Давыдовском, Новохоперском и Новоусманском лесничествах Воронежской области

№ п/п	Тип леса, ТЛУ	Густота посадки, шт.	Размещение, м	Площадь питания, $м^2$	Сохранность на 1 га, шт.	Приживаемость, %	Дополнение	
							шт.	%
Давыдовское лесничество								
1 ЗКС	ССРТ, $В_2$	3320	2,5 х 1,2	3,0	2030	61,1	1290	38,9
2 ЗКС	ССРТ, $В_2$	3320	2,5 х 1,2	3,0	2046	61,6	1274	38,4
Среднее:	-	3320	2,5 х 1,2	3,0	1895	56,9	1425	43,1
3 ОКС	ССРТ, $В_2$	4400	2,5 х 0,9	2,25	1760	40,0	2640	60,0
4 ОКС	ССРТ, $В_2$	4400	2,5 х 0,9	2,25	3450	78,0	950	22,0
Среднее:	-	4400	2,5 х 0,9	2,25	2605	59,0	1795	41,0
Новохоперское лесничество								
5 ОКС	СТР, $А_2$	4400	3,0 х0,75	2,25	1800	40,9	2600	59,1
6 ОКС	СТР, $А_2$	4400	3,0 х0,75	2,25	2205	51,1	2195	48,9
Среднее:	-	4400			2002	46,0	2397	54,0
7 ОКС	ССРТ, $В_2$	4400	3,0 х0,75	2,25	1457	33,0	2943	67,0
8 ОКС	ССРТ, $В_2$	4400	3,0 х0,75	2,25	2133	48,0	2267	52,0
Среднее:	-	4400	3,0 х0,75	2,25	1795	40,5	2605	59,5
Новоусманское лесничество Новоусманское участковое								
9 ЗКС	СТР, А1	2300	2,5х1,75	4,37	1093	47,5	1207	52,2
10 ЗКС	СТР, А1	2300	2,5х1,75	4,37	1152	50,0	1148	50,0
Среднее:	-	2300	2,5х1,75	4,37	1122	48,7	1178	51,1
11 ЗКС	СТР, А2	3300	2,5х1,20	3,0	2245	68,0	1055	32,0
12 ЗКС	СТР, А2	3300	2,5х1,20	3,0	2151	65,2	1149	34,8
Среднее:	-	3300	2,5х1,20	3,0	2198	66,6	1102	33,4

В Давыдовском лесничестве заложено 4 пробные площади, размером 0,15 га. Пробные площади заложены в лесостепной зоне, в лесостепном районе европейской части Российской Федерации:

- пробные площади №1-2 в лесных культурах сосны обыкновенной, созданных сеянцами с ЗКС однолетнего возраста с первоначальной густотой посадки 3320 шт. на 1 га и размещением посадочных мест 2,5 х 1,2 м;

- пробные площади №3-4 в лесных культурах сосны обыкновенной, созданных сеянцами с ОКС двухлетнего возраста с первоначальной густотой посадки 4000 шт. на 1 га и размещением посадочных мест 2,5 х 0,9 м.

На пробных площадях в лесных культурах, созданных сеянцами с ЗКС, наблюдается более равномерная приживаемость, тогда как в культурах, созданных сеянцами с ОКС приживаемость отличается значительно (различия составляют – 38%). Тем не менее, необходимо отметить лучшую приживаемость в лесных культурах сосны обыкновенной, созданных сеянцами с ОКС (превышение составляет – 2,1 %). Дополнение лесных культур при этом составляет 41,0-43,1% соответственно для лесных культур, созданных сеянцами с ЗКС и ОКС (табл. 3).

В Новохоперском лесничестве заложено 4 пробные площади, размером 0,15 га. Пробные площади заложены в степной зоне, района степей европейской части Российской Федерации в лесных культурах сосны обыкновенной, созданных сеянцами с ОКС двухлетнего возраста с первоначальной густотой посадки 4400 шт. на 1 га и размещением посадочных мест 3,0 х 0,75 м.

На пробных площадях в лесных культурах, созданных сеянцами с ОКС в различных типах леса и типах лесорастительных условий, в связи с расположением участка исследований в степной зоне, наблюдается низкая приживаемость 40,5-46,0%, вне зависимости от почвенных условий. Дополнение лесных культур составляет 54,0-59,5%. В Новоусманском лесничестве заложено 4 пробные площади, размером 0,15 га. Пробные площади заложены в лесостепной зоне, лесостепного района европейской части Российской Федерации в лесных культурах сосны обыкновенной, созданных сеянцами с ЗКС однолетнего возраста с первоначальной густотой посадки 2300 и 3300 шт. на 1 га и размещением посадочных мест 2,5 х 1,75 м 2,5 х 1,20 м соответственно. На пробных площадях в лесных культурах, созданных сеянцами с ЗКС в однородном типе леса и различных типах лесорастительных условий, самая высокая приживаемость наблюдается в лесных культурах при первоначальной густоте посадки 3300 шт. на 1 га в типе леса сосняк травяной (СТР), и типе лесорастительных условий бор свежий (A_2). Максимальное значение приживаемости лесных культур составляет 68%. Дополнение лесных культур составляет – 32,0%.

Заключение

Согласно действующих Правил лесовосстановления, начиная с 2025 года не менее 30 % площадей искусственного и комбинированного лесовосстановления должно выполняться посадочным материалом с закрытой корневой системой. Приняты нормативно-правовые акты, направленные на увеличение выращивания посадочного материала с ЗКС.

Рассматривая период лесовосстановительных работ 2021-2025 гг. в Давыдовском, Новохоперском и Новоусманском лесничествах Воронежской области, расположенные в лесостепной зоне, лесостепном районе европейской части Российской Федерации, необходимо отметить наибольший объем лесовосстановительных мероприятий сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС. За период посадки лесных культур в этих лесничествах наблюдается высокая приживаемость и сохранность произведенных посадок в конкретных типах леса и типах лесорастительных условий (сосняк травяной (СТР), сосняк травяной с дубом (ССРТ), бор сухой (A_1), бор свежий (A_2), суборь свежая (B_2)).

Для лучшей приживаемости и сохранности, а также оптимального количества растений на площади к возрасту перевода культур в покрытые лесом земли, первоначальная густота посадки в случае создания культур в типе леса СТР, ССРТ и ТЛУ – $A1$, A_2, B_2 должна быть увеличена не менее чем на 30 %.

Список литературы

1. ГОСТ 17559-82 Лесные культуры. Термины и определения

2. Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 "Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации"

3. Приказ УЛХ Воронежской области от 3 сентября 2018 года № 845 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Давыдовского лесничества Воронежской области (с изменениями на 4 марта 2025 года)

4. Приказ УЛХ Воронежской области от 3 сентября 2018 года № 847 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Новохоперского лесничества Воронежской области» (с изменениями на 4 марта 2025 года)

5. Приказ УЛХ Воронежской области от 3 сентября 2018 года № 848 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Новоусманского лесничества Воронежской области» (с изменениями на 4 марта 2025 года)

6. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.12.2021 № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления».

7. Технические указания по проведению инвентаризации лесных культур, защитных лесных насаждений, питомников, площадей с проведенными мерами содействия естественному возобновлению леса и вводу молодняков в категорию ценных древесных насаждений, утв. Госкомлесом СССР от 08.12.89 г.

8. Указ губернатор Воронежской области от 15 ноября 2021 года № 200-у «Об утверждении Лесного плана Воронежской области» (с изменениями на 1 июля 2024 года) (в ред. указов Губернатора Воронежской области от 01.03.2024 № 79-у, от 01.07.2024 № 220-у).

References

1. GOST 17559-82 Forest crops. Terms and definitions

2.Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 08/18/2014 No. 367 "On Approval of the List of forest-growing Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation" 3. Order of the FDA of the Voronezh Region dated September

3, 2018 No. 845 "On Approval of the Forestry Regulations of the Davydovsky Forestry District of the Voronezh Region (as amended on March 4, 2025)

4.Order of the FDA of the Voronezh Region dated September 3, 2018 No. 847 "On Approval of the Forestry Regulations of the Novokhopersky Forestry District of the Voronezh Region" (as amended on March 4, 2025)

5.Order of the FDA of the Voronezh Region dated September 3, 2018 No. 848 "On Approval of the Forestry Regulations of the Novousmansky Forestry District of the Voronezh Region" (as amended on March 4, 2025)

6.Order No. 1024 of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated December 29, 2021 "On Approval of the Rules of Reforestation, the form, composition, procedure for approving the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic form of the reforestation project."

7.Technical instructions for carrying out an inventory of forest crops, protective forest stands, nurseries, areas with measures taken to promote the natural renewal of forests and the introduction of young trees into the category of valuable tree stands, approved by the Government of the Russian Federation. USSR State Committee of 08.12.89

8. Decree of the Governor of the Voronezh Region dated November 15, 2021 No. 200-u "On Approval of the Forest Plan of the Voronezh Region" (as amended on July 1, 2024) (as amended decrees of the Governor of the Voronezh Region dated 03/01/2024 No. 79-u, dated 07/01/2024 No. 220-u).

DOI: 10.58168/Forestry2025_115-119
УДК 630

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ NDVI РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПАРКА ИМ. М. ГАФУРИ Г. УФЫ

М.В. Мартынова,
д-р, с.-х. наук, доцент, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна,
С.И. Гарфутдинова,
соискатель кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна,
Г.Е. Одинцов,
канд., с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна,
А.К. Габделхаков,
канд., с.-х. наук, доцент, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна,
Д.А. Рафикова,
ассистент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна,
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, Россия

Аннотация. В ходе исследования был проведен анализ динамики NDVI растительного покрова парка им. М. Гафури г. Уфы. Для этого были использованы космические снимки Landsat за 1997, 2014 и 2023 гг., по которым определены NDVI растительного покрова исследуемого парка. Обработка снимков проводилась с использованием программного обеспечения ArcGis 10.5. Вегетационный индекс NDVI на полученной тематической карте сгруппирован в 7 классов с градацией от 0,0 до 0,7. Полученные результаты свидетельствуют о росте NDVI в нескольких классах за рассматриваемый период на исследуемой территории. На снимке 1997 г. большая часть территории лесопарка характеризуется шестым (49,1 %), седьмым (33,7 %) и пятым (10,7 %) классами. На снимке Landsat 2014 г. наблюдается уменьшение значения NDVI по площади растительного покрова. Существенными по площади являются изменения в 3-7 классах. По состоянию на 2023 год в парке доминирует 4 класс – 47,9 %. Уменьшение фотосинтетической активности исследуемого участка отражают большие переходы площади с 6-7 класса на более низкие. Этот факт можно связать с уменьшением лесоводственной полноты (степени сомкнутости крон). Уменьшение на 2 класса и более связано со строительством объектов благоустройства. За 26-летний период произошли изменения по всем класса индекса NDVI.
Ключевые слова: динамика, парк, NDVI, растительный покров, насаждение.

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF NDVI VEGETATION COVER OF THE M. GAFURI PARK IN UFA

M.V. Martynova,
Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry and Landscape Design,
S.I. Garfutdinova,
Candidate of the Department of Forestry and Landscape Design,
G.E. Odintsov,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry and Landscape Design,
A.K. Gabdelkhakov,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry and Landscape Design,

© Мартынова М. В., Гарфутдинова С. И., Одинцов Г. Е., Габделхаков А. К., Рафикова Д. А., 2025

D.A. Rafikova,
Assistant Professor at the Department of Forestry and Landscape Design,
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Abstract. The study analyzed the dynamics of the NDVI vegetation cover of the M. Gafuri Park in Ufa. For this purpose, the Landsat satellite images for 1997, 2014 and 2023 were used, which determined the NDVI of the vegetation cover of the studied park. The images were processed using the ArcGIS 10.5 software. The NDVI vegetation index on the resulting thematic map is grouped into 7 classes with a gradation from 0.0 to 0.7. The results indicate an increase in NDVI in several classes during the period under review in the study area. In the picture from 1997 Most of the forest park's territory is characterized by sixth (49.1%), seventh (33.7%) and fifth (10.7%) classes. The 2014 Landsat image shows a decrease in the NDVI value in terms of vegetation cover. The changes in grades 3-7 are significant in terms of area. As of 2023, Class 4 dominates in the park – 47.9%. The decrease in photosynthetic activity of the studied area reflects large area transitions from class 6-7 to lower ones. This fact can be attributed to a decrease in forestry completeness (the degree of crown closure). A decrease of 2 classes or more is associated with the construction of landscaping facilities. Over the 26-year period, there have been changes in all classes of the NDVI index.

Keywords: dynamics, park, NDVI, vegetation, planting.

Введение. Оценка текущего состояния ландшафтов и отслеживание их эволюции под воздействием различных факторов является важнейшей задачей современных экологических исследований и управления природными ресурсами [3]. Спутниковые снимки играют ключевую роль в современном мониторинге ландшафтов, облегчая расчет растительных индексов, таких как нормализованный разностный растительный индекс (NDVI). Это позволяет анализировать динамику долгосрочных изменений в обширных географических регионах. Такие исследования особенно ценны в регионах с уникальной правовой базой, в которых приоритетное внимание уделяется сохранению биоразнообразия и сохранению функций экосистем [1].

Индексы растительности, которые измеряют состояние и плотность растительного покрова, очень чувствительны к изменениям, вызванным как деятельностью человека, так и природными явлениями. Эти факторы могут включать рекреационное использование, добычу полезных ископаемых, разрастание городов, ветровую и водную эрозию и лесные пожары [3,5]. В целях мониторинга глобальных тенденций в области растительности и биоразнообразия исследователи часто используют данные дистанционного зондирования со спутников. Эти спутниковые системы получают изображения в широком спектре электромагнитного излучения, что позволяет проводить всесторонние наблюдения за экосистемами Земли с высоким пространственным и временным разрешением. Анализируя эти изображения и создавая тематические карты на основе индексов растительности, ученые могут выявлять потенциальные экологические риски и прогнозировать будущие изменения в состоянии экосистем [4].

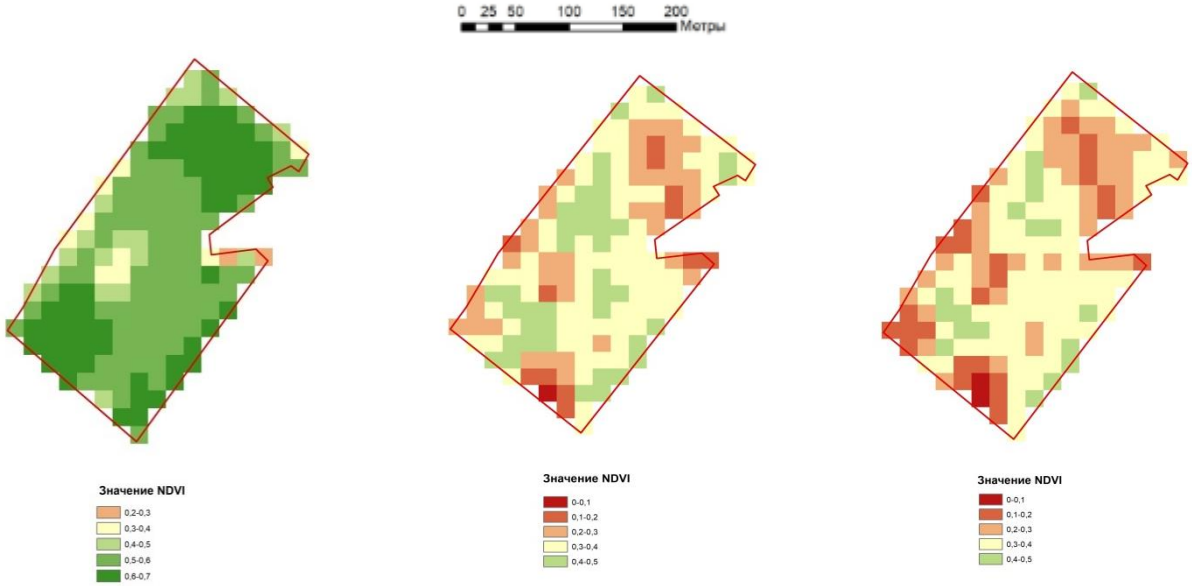
Индекс NDVI отличается простотой вычисления и обладает широким динамическим диапазоном, что позволяет эффективно определять тип растительного покрова. Он также демонстрирует умеренную чувствительность к изменениям почвенного или атмосферного фона. Однако следует отметить, что NDVI может быть менее точным при анализе участков с разреженной растительностью [2].

Цель исследования – анализ динамики NDVI растительного покрова парка им. М. Гафури г. Уфы.

Методика исследования. В качестве объекта исследования выбран парк им. М. Гафури (рисунок 1). Для проведения исследований использованы космические снимки Landsat-5 (1997) и Landsat-8 (2014 и 2023):

- спутниковый снимок Landsat-5, сцена LT51670221997204AAA02, дата съемки 23.07.1997 г., UTM Zone 40, облачность 0,00%;
- сутниковый снимок Landsat-8, сцена LC81660222014196LGN01, дата съемки 15.07.2014 г., UTM Zone 40, облачность 1,56%;
- спутниковый снимок Landsat-8, сцена LC81660222023189LGN00, дата съемки 08.07.2023 г., UTM Zone 40, облачность 0,04%

Рисунок 1 – Исследуемая территория (парк им. М. Гафури)



а) 1997 **б) 2014** **в) 2023**

Рисунок 2 – Коэффициенты NDVI в различные временные периоды по классам

Анализ современного состояния парка и динамики вегетационного индекса NDVI за 26-летний период был осуществлен на основе космических снимков, охватывающих его территорию. Обработка снимков проводилась с использованием программного обеспечения ArcGis 10.5. В результате расчета были определены площади для каждого класса NDVI попиксельно.

Результаты исследований. Для оценки динамики вегетационного индекса NDVI были проведены сравнительные исследования снимков многолетних космических наблюдений. Анализ трех снимков, полученных в 1997, 2014 и 2023 годах и охватывающих исследуемую территорию, позволил проанализировать современное состояние вегетационного покрова и выявить тенденции изменения индекса NDVI в пределах выделенных участков по категориям землепользования. Сравнение динамики индексов с 1997 года указывает на существенные изменения площадей всех классов земель, представленных значениями от 0 до 1 (рисунок 2, таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Характеристики индекса вегетации NDVI по классам

Значение NDVI	1997		2014		2023	
	Кол. пикселей, шт.	Площадь, га	Кол. пикселей, шт.	Площадь, га	Кол. пикселей, шт.	Площадь, га
0-0,1		0,00	1	0,09	2	0,18
0,1-0,2		0,00	12	1,08	25	2,25
0,2-0,3	2	0,18	40	3,60	43	3,87
0,3-0,4	9	0,81	76	6,84	81	7,29
0,4-0,5	18	1,62	40	3,60	18	1,62
0,5-0,6	83	7,47		0,00		0,00
0,6-0,7	57	5,13		0,00		0,00
Итого	169	15,21	169	15,21	169	15,21

размер одного пикселя 30 30 м

Таблица 2 – Значения индекса вегетации NDVI

Показатель	1997	2014	2023
Значение NDVI:			
Мин	0,2530120611190796	0,08129469305276871	0,09054809063673019
Макс	0,6833333373069763	0,4776639938354492	0,4566194415092468
Среднее	0,5566827582537069	0,3333259823142424	0,303298755686664
Ср. кв. откл.	0,08500733493556187	0,0840909372473759	0,08707520334612692

При группировке полученных значений NDVI в 7 классов согласно методике исследования, получили следующие результаты. На снимке 1997 г. большая часть территории лесопарка характеризуется шестым (49,1 %), седьмым (33,7 %) и пятым (10,7 %) классами. Удельный вес остальных классов (1-4) составляет менее 6 %. На снимке Landsat 2014 г. наблюдается уменьшение значения NDVI по площади растительного покрова: на 6-7 классы приходится 0 %, увеличилась площадь с 1 по 5 классы. Участки парка, на которых произошли изменения в 1-2 классах NDVI, незначительны. Существенными по площади являются изменения в 3-7 классах. На снимке 2023 года 6-7 классы остались неизменными, незначительно увеличились площади с 1 по 4 класс, по 5 классу площадь уменьшилась. По состоянию на 2023 год в парке доминирует 4 класс – 47,9 %.

По территории 1-5 классы (значение вегетационного индекса 0-0,7) наблюдается существенное увеличение площади, а территории с 6-7 классом (ВИ от 0,5-0,7) характеризуются отрицательной динамикой, что обусловлено изменениями в предыдущих классах. Уменьшение фотосинтетической активности исследуемого участка отражают большие переходы площади с 6-7 класса на более низкие. Этот факт можно связать с уменьшением лесоводственной полноты (степени сомкнутости крон). Уменьшение на 2 класса

и более связано со строительством объектов благоустройства. За 26-летний период произошли изменения по всем класса индекса NDVI. Эти участки равномерно распределены по всему парку.

Заключение. Расчёт вегетационного индекса NDVI на основе снимков с различным пространственным разрешением (низким, средним и широким) представляет собой эффективный инструмент для комплексного анализа лесных территорий. Данный метод позволяет не только выделить участки, не покрытые лесом или являющиеся нелесной землей, но также чётко визуализировать участки древостоев, существенно отличающиеся по своим характеристикам от окружающих (представленные более тёмными оттенками на индексированном изображении). Широкое применение расчет NDVI находит в картографировании, таксации и анализе лесных массивов, включая парковые насаждения.

Список литературы

1. Баширова, Ч. Ф. Индекс NDVI для дистанционного мониторинга растительности // Молодой ученый. 2019. № 31 (269). С. 30-31. URL: https://moluch.ru/archive/269/61895/.

2. Ботвич, И.Ю. Динамика трендов NDVI растительности Западной Сибири в условиях климатических изменений (по спутниковым данным) / И.Ю. Ботвич, Г.С. Высоцкая, С.А. Иванов, Т.И. Письман, А.П. Шевырногов. Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2023, 16(2). С. 244–251. EDN: HTMBYS

3. Елсаков, В.В. Современные изменения растительного покрова пастбищ северного оленя Тиманской тундры по результатам анализа данных спутниковой съёмки / В.В. Елсаков, В.М. Щанов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса 2019. Т. 16, № 2. С. 128-142. DOI: 10.21046/2070-7401- 2019-16-2-128-142.

4. Многолетние тренды в состоянии растительности хребтов Тянь-Шаня и Джунгурского Алатау по данным EMODIS NDVI C6 (2002-2019) / А. Г. Терехов, И. С. Витковская, И. И. Абаев, С. А. Долгих // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 133-142.

5. Терехин, Э.А. Индикация многолетних изменений в растительном покрове залежных земель лесостепи на основе рядов вегетационного индекса NDVI / Э.А. Терехин // Компьютерная оптика. 2021. Т. 45, № 2. С. 245-252. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-797.

References

1. Bashirova, C. F. NDVI index for remote monitoring of vegetation // Young Scientist. 2019. No. 31 (269). pp. 30-31. URL: https://moluch.ru/archive/269/61895

2. Botvich, I.Y. Dynamics of NDVI vegetation trends in Western Siberia in the conditions of climatic changes (according to satellite data) / I.Y. Botvich, G.S. Vysotskaya, S.A. Ivanov, T.I. Pisman, A.P. Shevyrnogov. Journal of the Siberian Federal University. un-ta. Engineering and Technology, 2023, 16(2). pp. 244-251. EDN: HTMBYS

3. Elsakov, V.V. Modern changes in the vegetation cover of reindeer pastures of the Timan tundra based on the results of satellite survey data analysis / V.V. Elsakov, V.M. Shchanov // Modern problems of remote sensing of the Earth from space 2019. Vol. 16, No. 2. pp. 128-142. DOI: 10.21046/2070-7401- 2019-16-2-128-142.

4. Long-term trends in the vegetation of the Tien Shan and Dzungur Alatau ridges according to EMODIS NDVI C6 data (2002-2019) / A. G. Terekhov, I. S. Vitkovskaya, I. I. Abaev, S. A. Dolgikh // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2019. Vol. 16. No. 6. pp. 133-142.

5. Terekhin, E.A. Indication of long-term changes in the vegetation cover of the fallow lands of the forest-steppe based on the series of the NDVI vegetation index / E.A. Terekhin // Computer optics. 2021. Vol. 45, No. 2. pp. 245-252. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-797.

DOI: 10.58168/Forestry2025_120-126
УДК 630 231

ЕСТЕСТВЕННОЕ ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ: СОСНОВЫЕ МОЛОДНЯКИ НА ЗАБРОШЕННЫХ ПАШНЯХ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ ПОДТАЙГИ

Г. Г. Полякова[1], Н. В. Соколова[2]

[1]д.б.н., с.н.с. лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии
[2]к.с-х.н., с.н.с. лаборатории таксации и лесопользования
Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск Россия

Аннотация.
Произведена оценка перспективности для лесного хозяйства соснового молодняка, естественно возобновившегося на заброшенной пашне в подтаежно-лесостепной зоне Средней Сибири. За период 2007–2021 гг. были установлены таксационные характеристики молодняка, сформированного в 2000 г. В 2007-2021 гг. средний диаметр увеличился от 1.8 до 8.0 см, средняя высота – от 2.3 до 10.3 м. Проведенные исследования доказывают необходимость включения таких перспективных молодняков, возникших на заброшенных пашнях, в состав лесного фонда.

Ключевые слова: естественное лесовозобновление, подтаежно-лесостепная зона, Средняя Сибирь, залежные земли, молодняк сосны.

NATURAL REFORESTATION: YOUNG PINE STANDS ON THE ABANDONED ARABLE LANDS OF THE YENISEI SUBTAIGA

G. G. Polyakova[1], N. V. Sokolova[2]

[1]Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher,
Microbiology and Environmental Biotechnology Laboratory
[2]PhD in agricultural sciences, Senior Researcher,
Forest Inventory and Forest Management Laboratory
Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science Siberian Branch, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. Prospects for the forestry of young pine stands, naturally regenerated on abandoned arable land in the subtaiga-forest-steppe zone of Central Siberia have been evaluated. For the period 2007-2021, the inventory characteristics of the young stand formed in 2000 have been established.

In 2007-2021, the average diameter increased from 1.8 to 8.0 cm, and the average height increased from 2.3 to 10.3 m. The studies carried out prove the necessity to include such promising young stand, regenerated on abandoned fields, in the forest fund.

Keywords: natural reforestation, subtaiga-forest-steppe zone, Central Siberia, fallow lands, young pine stands.

Заброшенные сельскохозяйственные угодья, особенно малопродуктивные, во многих странах мира рассматриваются как объекты для восстановления биоразнообразия, экосистемных функций и услуг [5]. Трансформация выведенных из оборота заброшенных пашен, переведенных в залежь, происходит под влиянием естественных и антропогенных

© Полякова Г. Г., Соколова Н. В., 2025

процессов: почвообразования, саморазвития почв, задернения, залужения, заболачивания, зарастания древесно-кустарниковой растительностью [6]. Процесс вторичной сукцессии лесных насаждений на залежных землях характерен для подтаежных и лесостепных районов, наиболее пригодных для интенсивного ведения лесного хозяйства [2]. Выращивание устойчивых высокопродуктивных насаждений на залежных землях способно минимизировать ущерб выбытия из оборота сельскохозяйственных угодий и позволит контролировать секвестрацию органического углерода [7].

Изучение формирования древостоев, естественно возникших на залежах, не имеющих свойств лесных почв, актуально для разработки комплекса лесохозяйственных мероприятий по выращиванию продуктивных древостоев и сохранению биоразнообразия на сложившихся резервных территориях с определенным генетическим потенциалом [8]. Динамика естественного облесения напрямую связана с процессами заброшенности сельскохозяйственных угодий. Низкое содержание органического углерода и основных питательных веществ в постагрогенных почвах не влияет на формирование лесных насаждений и разнообразие растительного покрова [9].

Цель исследования заключалась в оценке возрастной динамики таксационных характеристик древостоя, его санитарного состояния и перспективности для ведения лесного хозяйства на примере пионерной сукцессии сосны на заброшенных пашнях в подтаежно-лесостепной зоне Центральной Сибири. Исследуемый выдел соснового молодняка площадью 4,2 га, находится в 40 км к северу от границы г. Красноярск. Насаждение относится к равнинной лесостепи зонально-провинциального комплекса подтайги [3]. Сосновый молодняк возник на пашне, заброшенной в 1997 г., после низового пожара 1999 года, очистившего землю от сорной травяной растительности. Успешное засевание территории семенами сосны было обеспечено сосняками смежных участков. Густота деревьев на выделе соснового молодняка не зависела от степени удаленности от стены леса, обеспечившего обсеменение заброшенной пашни (рис. 1). Градиент густоты отсутствовал.

Рис. 1. Сосновый молодняк в 2021 г.

Пробная площадь прямоугольной формы была заложена в центральной части молодняка в 2007 г. в соответствии с государственным стандартом [1]. Согласно ГОСТ размер пробной площади и её секций определяют исходя из требования наличия в молодняках не менее 400-500 деревьев. Если число деревьев слишком велико, то перечет деревьев производят в секции с количеством деревьев не менее 400 штук. В 2007 г. на пробной площади было

учтено 427 деревьев. Густота деревьев была настолько высокая, что ветви деревьев были переплетены. Для обозначения границ были прорублены просеки шириной порядка 0,5–1 м. Площадь пробной площади составила 0,024 га (20 м × 12 м). Каждое дерево было пронумеровано с помощью металлических бирок с индивидуальными высеченными номерами. Бирки были прикреплены к деревьям медной проволокой.

Учеты деревьев проводили ежегодно в августе. У каждого дерева измеряли диаметр с помощью штангенциркуля. В последующие годы для определения диаметра также применяли мерную ленту для измерения окружности ствола на высоте 1,3 м.

В 2007 г. на пробной площади был определен возраст каждого дерева, равный количеству мутовок на стволе плюс 1.

Возраст деревьев для всей пробной площади (ASP) был вычислен как средневзвешенный по объему стволов всех учетных деревьев:

$$A_{SP} = \sum_{i=1}^{n}(K_i \cdot V_i) / \sum_{i=1}^{n} V_i \ ,$$

где n – номер i-того дерева на ПП принимает значения от единицы до последнего номера дерева на ПП); A_i – это возраст i-того дерева на ПП; V_i – это объем ствола i – того дерева в м^3; $\sum_{i=1}^{n} V_i$ – это суммарный объем стволов (запас) на ПП в м^3.

Ежегодно определяли высоту каждого дерева с точностью до 0,1 м. В первые годы мониторинга использовали рейку с делениями, затем ультразвуковой высотомер Vertex-IV.

В 2007–2021 гг. в молодняке было отмечено появление огромных муравейников высотой до 1 м. Рост численности муравьев связан с большим количеством тлей, которые развивались на хвое сосен, ослабляемых при межвидовой конкуренции.

Статистические параметры диаметров были рассчитаны для оценки точности измерения в 2007–2021 гг. Коэффициент вариации (V) – это доля величины среднего квадратичного отклонения (σ) в величине средней арифметической (M), выраженная в процентах:

$$V = \sigma \cdot 100 / M \ , \%.$$

Точность определения средней арифметической (P) – это доля величины ошибки средней арифметической (репрезентативности медии) (m_M) в величине средней арифметической, выраженная в процентах:

$$P = m_M \cdot 100 / M \ , \%.$$

В 2007 г. и 2014 г. рядом с пробной площадью были отобраны модельные деревья, которые подробно измерялись для установления зависимости объема ствола от высоты и диаметра дерева на высоте 1,3 м. В 2007 г. были отобраны 19 модельных деревев, в 2014 г. – 12.

Для расчета объема стволов (V) по измеренным диаметру (D) и высоте (H) использовали регрессионное уравнение [4]. Коэффициенты уравнения вычисляли по алгоритму, представленному в программе STATISTICA (Statistics, Advanced Linear/Nonlinear Model, Nonlinear Estimation).

$$V_{2007} = \exp\,(-0{,}775+0{,}951 \ln (D_{1,3}) + 1.319 \ln (H)); \ p = 0.000; \ R^2 = 0.96;$$

$$V_{2014} = \exp\,(0.417+1.622 \ln (D_{1,3}) + 0.933 \ln (H)); \ p = 0.000; \ R^2 = 0.99.$$

Ежегодно у каждого дерева визуально определяли категорию санитарного состояния по 6-балльной шкале Правил санитарной безопасности в лесах [10]. К первой категории относятся деревья без повреждения, ко второй – деревья со слабыми повреждениями, к третьей – деревья с сильными повреждениями, к четвертой – усыхающие деревья, к пятой – деревья, усохшие в текущем году, к шестой – деревья, усохшие в предыдущие годы. Категория санитарного состояния для всей пробной площади (KSP) была вычислена как средневзвешенная по объему стволов всех деревьев:

$$K_{SP} = \sum_{i=1}^{n}(K_i \cdot V_i) / \sum_{i=1}^{n} V_i ,$$

где n – номер i-того дерева на ПП принимает значения от единицы до последнего номера дерева на ПП); K_i – это категория i-того дерева на ПП, принимает значения от единицы до шести; V_i – это объем ствола i – того дерева в м^3; $\sum_{i=1}^{n} V_i$ – это суммарный объем стволов (запас) на ПП в м^3.

В 2007 г. на пробной площади было учтено 427 деревьев. 413 деревьев высотой 1,3 м и более, из них одно сухостойное дерево, и 14 деревьев высотой менее 1,3 м. (табл. 1).

Таблица 1 Статистические параметры диаметра у деревьев I–IV категории на ПП

Год	Число деревьев, шт.	Среднее арифметическое значение (медия) (M), см	Среднее квадратичное отклонение (σ)	Ошибка среднего (m_M)	Изменчивость (коэффициент вариации) (V), %	Точность (P), %
2007	426 (14)	1,479	0,960	0,047	64,9	3,1
2008	435 (3)	2,270	1,301	0,063	57,3	2,7
2009	438 (1)	2,649	1,510	0,072	57,0	2,7
2010	427	3,092	1,751	0,085	56,6	2,7
2011	408	3,479	1,944	0,096	55,9	2,8
2012	398	3,718	2,098	0,105	56,4	2,8
2013	371	4,218	2,386	0,124	56,6	2,9
2014	346	4,646	2,553	0,137	55,0	3,0
2015	328	5,054	2,754	0,152	54,5	3,0
2016	313	5,374	2,899	0,164	54,0	3,0
2017	292	5,762	2,994	0,175	52,0	3,0
2018	267	6,166	3,035	0,186	49,2	3,0
2019	248	6,573	3,079	0,196	46,8	3,0
2020	227	7,038	3,114	0,207	44,3	2,9
2021	216	7,286	3,183	0,217	43,7	3,0

Примечание – В скобках указано количество деревьев на ПП ниже 1,3 м.

В 2008–2009 гг. количество учтенных деревьев увеличилось, поскольку дополнительные деревья доросли до высоты 1,3 м и выше. 435 деревьев было учтено в 2008 г., в 2009 г. – 438. В последующие годы количество деревьев монотонно уменьшалось. Это закономерно, поскольку внутривидовая конкуренция очень высока.

Коэффициент вариации диаметра (V) в 2007–2021 гг. изменился от 64,9 % до 43,7 %, т. е. варьирование признака было весьма высоким. Достаточный объем выборки – 412 растущих деревьев в год закладки пробной площади, обеспечивает высокую точность измерения по диаметру (около 3 %). В 2004–2009 гг. все деревья достигли высоты 1,3 м и более (рис. 2).

В 2007–2021 гг. средневзвешенная по запасу категория санитарного состояния увеличилась от 1,0 до 1,9. Это было вызвано ослаблением и массовой гибелью отстающих в росте деревьев. Густота деревьев возрастала в период 2007–2009 гг., затем она убывала до 2021 г.

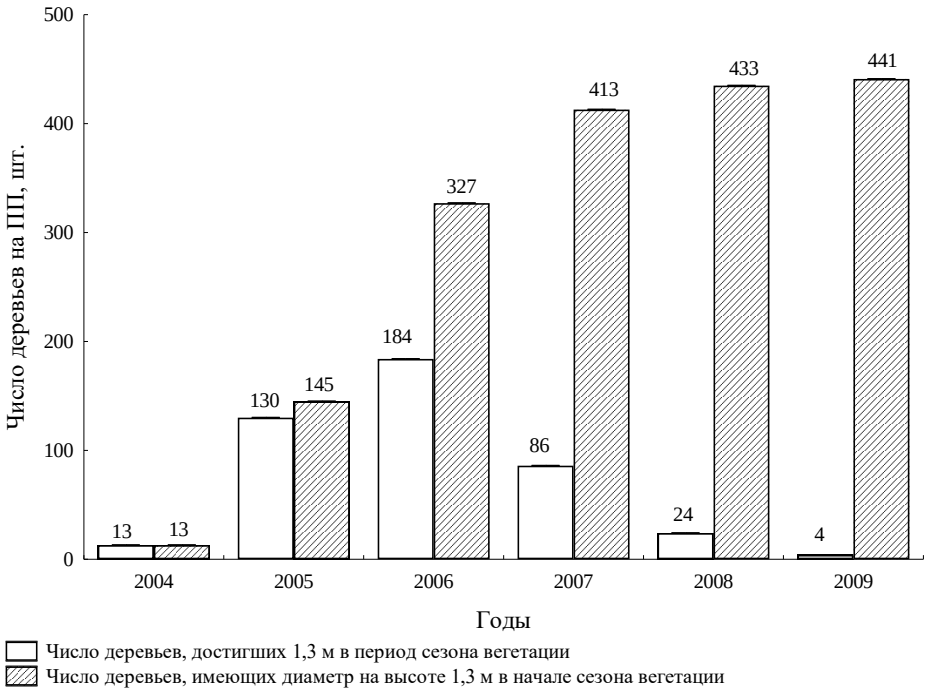


Рис. 2. Период достижения всеми деревьями высоты 1,3 м и более.

Рис 3. Гарь на месте соснового молодняка в сентябре 2022 г.

Возрастание густоты обусловлено увеличением количества деревьев, доросших до высоты 1,3 м. В 2007 году практически все деревья в молодняке были в хорошем состоянии (категория санитарного состояния была равна 1). Повреждающий фактор внутривидовой конкуренции еще не был проявлен. Отмеченный период увеличения густоты указывает на то, что массовое зарождение деревьев (прорастание зародыша из семени) на заброшенной пашне в основном произошло в течение 3-х лет. Монотонное значительное убывание густоты

молодняка в 2009–2021 гг. соответствует фазе жесткой внутривидовой конкуренции, ослаблению и гибели отставших в росте деревьев.

Врастание деревьев (достижение ими высоты 1,3 м и выше) объясняет обнаруженный феномен "задержки" среднего возраста. В 2007 г. и 2008 г. средний возраст оставался равным 7. "Скачок" возраста с 9-летнего возраста до 11-летнего в 2010–2011 гг. обусловлен быстрой гибелью более молодых отставших в росте деревьев, которые «опоздали» в период засевания территории.

Средние высота, диаметр, запас монотонно возрастали в 2007–2021 гг. Жесткая внутри конкурентная борьба обуславливает усыхание боковых ветвей нижней части кроны у доминирующих деревьев и интенсивный отпад угнетенных более тонких деревьев. Все это способствует формированию низкосбежистых стволов будущего высокополнотного сосняка.

Молодой сосняк был полностью уничтожен пожаром 8 мая 2022 года (рис. 3).

Полученные результаты подтвердили высокий потенциал соснового леса, возобновившегося на заброшенных пахотных землях Приенисейской подтайги. Массовое появление всходов сосны на пашне происходило в течение трех лет. Успешное развитие молодняка сосны в дальнейшем позволило бы сформировать высокопродуктивный сосновый лес. Проведенные исследования доказывают необходимость включения таких перспективных молодняков, возникших на заброшенных пашнях, в состав лесного фонда.

Список литературы

1. ОСТ 16128-90. Пробные площади лесоустроительные. М.: Гослесхоз СССР, 1990. 8 с.

2. Поляков В. И., Полякова Г. Г., Стасова В. В. Моделирование прироста древостоев на постоянных пробных площадях // Лесная таксация и лесоустройство / Межд. науч.-практ. ж. 2008. 1(39). С. 65-72.

3. Сергеев Г. М. Островные лесостепи и подтайга Приенисейской Сибири / Восточно-Сибирское книжное изд-во. 1971. 262 с.

4. Шевелев С. Л., Кузьмичев В. В., Павлов Н. В., Смольянов А. С. Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири. М.: ВНИИЛМ, 2002. 166 с.

5. Prishchepov, A.V. Agricultural Land Abandonment; Oxford Bibliographies. Environmental Science; Oxford University Press: Oxford, UK, 2020. DOI: 10.1093/obo/9780199363445-0129

6. Khanina L G, Smirnov V E, Romanov M S *et al*. 2018 Effect of spring grass fires on vegetation patterns and soil quality in abandoned agricultural lands at local and landscape scales in Central European Russia *Ecol Process* 7 38 DOI 10.1186/s13717-018-0150-8

7. Sukhbaatar G, Ganbaatar B, Jamsran T, Purevragchaa B, Nachin B, and Gradel A 2020 Assessment of early survival and growth of planted Scots pine (Pinus sylvestris) seedlings under extreme continental climate conditions of northern Mongolia *J. For. Res.* 31(1) 13–26 DOI 10.1007/s11676-019-00935-8

8. Mantero G, Morresi D, Marzano R *et al*. 2020 The influence of land abandonment on forest disturbance regimes: a global review *Landscape Ecol* 35 2723–2744 DOI 10.1007/s10980-020-01147-w

9. Suleymanov R, Shirokikh P, Suleymanov A. *et al*. 2020 The current state of abandoned lands in the northern forest steppe zone at the Republic of Bashkortostan (Southern Ural, Russia) *Spanish Journal of Soil Science* 10 1 29–44. DOI: 10.3232/SJSS.2020.V10.N1.03

10. Polyakova G, Pashenova N, Senashova V, Podolyak N, and Kudryasheva N 2020 Pine Stands as Bioindicators: Justification for Air Toxicity Monitoring in an Industrial Metropolis *Environments* 7 (4)(28) 1–13 DOI 10.3390/environments7040028

References

1. State standard 16128-90 *Forest management sample plots* (In Russian)

2. Polyakov V I, Polyakova G G, and Stasova V V 2008 Modeling the growth of pine stands on permanent sample plots *Forest inventory and forest management* 1(39) 65–74 (In Russian)

3. Sergeev G M 1971 *Island forest-steppes and subtaiga of the Yenisei Siberia* (Irkutsk: East Siberian Book Publishing House) (In Russian)

4. Shevelev S L, Kuzmichev V V, Pavlov N P, Smolyanov A S 2002 *Forest inventory guide for the southern taiga forests of Central Siberia* (Moscow: Russian National Research Institute for Silviculture and Forestry Mechanization) (In Russian)

5. Prishchepov, A.V. Agricultural Land Abandonment; Oxford Bibliographies. Environmental Science; Oxford University Press: Oxford, UK, 2020. DOI: 10.1093/obo/9780199363445-0129

6. Khanina L G, Smirnov V E, Romanov M S *et al*. 2018 Effect of spring grass fires on vegetation patterns and soil quality in abandoned agricultural lands at local and landscape scales in Central European Russia *Ecol Process* 7 38 DOI 10.1186/s13717-018-0150-8

7. Sukhbaatar G, Ganbaatar B, Jamsran T, Purevragchaa B, Nachin B, and Gradel A 2020 Assessment of early survival and growth of planted Scots pine (Pinus sylvestris) seedlings under extreme continental climate conditions of northern Mongolia *J. For. Res.* 31(1) 13–26 DOI 10.1007/s11676-019-00935-8

8. Mantero G, Morresi D, Marzano R *et al*. 2020 The influence of land abandonment on forest disturbance regimes: a global review *Landscape Ecol* 35 2723–2744 DOI 10.1007/s10980-020-01147-w

9. Suleymanov R, Shirokikh P, Suleymanov A. *et al*. 2020 The current state of abandoned lands in the northern forest steppe zone at the Republic of Bashkortostan (Southern Ural, Russia) *Spanish Journal of Soil Science* 10 1 29–44. DOI: 10.3232/SJSS.2020.V10.N1.03

10. Polyakova G, Pashenova N, Senashova V, Podolyak N, and Kudryasheva N 2020 Pine Stands as Bioindicators: Justification for Air Toxicity Monitoring in an Industrial Metropolis *Environments* 7 (4)(28) 1–13 DOI 10.3390/environments7040028

DOI: 10.58168/Forestry2025_127-132
УДК 630 23

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСОВ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ЛЕСНОМ ФОНДЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

О.Ю. Приходько

к.б.н., доцент Института лесного и лесопаркового хозяйства,
Приморский государственный аграрно-технологический университет,
г. Уссурийск, Россия

Аннотация. В статье проведен анализ современного состояния воспроизводства лесов на территории государственного лесного фонда Приморского края. Анализ основан на данных государственной статистической отчетности, материалах лесоустройства, а также научных публикациях, посвященных проблемам восстановления лесов в регионе. Рассмотрены динамика лесовосстановительных мероприятий, их эффективность и ключевые факторы, влияющие на успешность процессов возобновления лесных ресурсов. Результаты исследования показывают, что, несмотря на принимаемые меры, существуют проблемы, связанные с недостаточным объемом искусственного лесовосстановления и низкой сохранностью лесных культур. В работе предложены рекомендации по совершенствованию системы лесовосстановления в Приморском крае, включая оптимизацию методов посадки, усиление контроля за естественным возобновлением и внедрение адаптивных стратегий лесопользования.

Ключевые слова: лесовосстановление, государственный лесной фонд, Приморский край, лесные культуры, естественное возобновление, лесное хозяйство.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF FOREST REPRODUCTION IN THE STATE FOREST FUND OF PRIMORSKY KRAI

O.Yu. Prikhodko

Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor, Institute of Forestry and Forest Park Management,
Primorsky State Agrarian and Technological University, Ussuriysk, Russia

Abstract. The article analyzes the current state of forest reproduction in the territory of the state forest fund of Primorsky Krai. The analysis is based on state statistical reporting data, forest management materials, as well as scientific publications devoted to the problems of forest restoration in the region. The dynamics of forest restoration measures, their effectiveness and key factors influencing the success of forest resource renewal processes are considered. The results of the study show that, despite the measures taken, there are problems associated with insufficient artificial reforestation and low preservation of forest crops. The paper offers recommendations for improving the forest restoration system in Primorsky Krai, including optimization of planting methods, strengthening control over natural regeneration, and the introduction of adaptive forest management strategies.

Keywords: forest restoration, state forest fund, Primorsky Krai, forest crops, natural regeneration, forestry.

© Приходько О. Ю., 2025

Введение. Главной задачей лесного хозяйства является устойчивое управление лесными ресурсами, обеспечивающее получение максимального объема продукции при сохранении и усилении защитных, экологических и санитарно-гигиенических функций леса. Важным условием такого управления является воспроизводство изымаемых ресурсов. Как показывают исследования Дальневосточного научно-исследовательского института, леса Приморского края обладают высоким потенциалом естественного возобновления, что делает его наиболее экономически целесообразным и эффективным методом лесовосстановления в регионе [1-5]. Этот процесс может происходить как без изменения породного состава, так и с его трансформацией.

Несмотря на это, в Приморье продолжаются работы по искусственному и комбинированному лесовосстановлению. Однако более половины высаженных культур гибнет в первые пять лет из-за низовых пожаров, что значительно снижает результативность данных мероприятий.

Исторически основной культурой при искусственном лесовосстановлении в регионе выступала сосна корейская (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), однако ее семенная продуктивность варьируется по годам. Заготовка семян других ключевых лесообразующих пород сопряжена с большими трудозатратами, что зачастую приводит к выбору посадочного материала исходя из его доступности, а не экологической целесообразности. Как следствие, посадки нередко осуществляются в неоптимальных условиях.

Опыт лесовосстановления в Приморском крае показал, что использование саженцев обеспечивает более высокую эффективность по сравнению с посевом семян, который демонстрирует низкую результативность для большинства древесных пород (за исключением ореха маньчжурского *Juglans mandshurica* Maxim.). Кроме того, проведение рубок ухода в молодняках, являющихся важным элементом лесовыращивания, остается экономически невыгодным для арендаторов из-за отсутствия ликвидной древесины [5-7].

В данной статье проводится анализ современного состояния лесовосстановительных мероприятий на землях государственного лесного фонда Приморского края.

Методы. В ходе исследования были использованы официальные статистические данные, предоставленные Министерством лесного хозяйства, охраны окружающей среды, животного мира и природных ресурсов Приморского края, а также отчеты запросов системы обработки лесоустроительной информации (СОЛИ). Основными источниками информации послужили: форма № 1-ЛХ («Сведения о воспроизводстве лесов и лесоразведении»), отражающая ключевые показатели лесовосстановительных мероприятий; форма 11-ОИП («Сведения об отнесении земель, предназначенных для лесовосстановления, к землям, на которых расположены леса»); форма 12-ОИП («Распределение земель, непокрытых лесной растительностью, и нелесных земель по способам лесовосстановления и лесоразведения»).

Анализ данных позволил оценить текущее состояние лесовосстановления в регионе, включая динамику изменения площадей, подлежащих восстановлению, и эффективность применяемых методов.

Результаты исследований. В Приморском крае ключевым направлением лесовосстановительной политики является внедрение щадящих методов лесозаготовки, направленных на сохранение условий для естественного возобновления ценных древесных пород. По данным за 2024 год, выборочные рубки, характеризующиеся наименьшим воздействием на лесные экосистемы, составили 96 % от общего объема заготовки древесины. При этом минимальная полнота древостоя сохраняется на уровне 0,5, что обеспечивает благоприятные условия для естественного восстановления леса.

Объем сплошных рубок, включая вырубки под строительство лесных дорог (не требующие последующего лесовосстановления), был сведен к минимуму и составил всего 3,7 тыс. га. Подобная динамика демонстрирует приверженность региона стратегии, ориентированной на максимальное использование естественных процессов лесовосстановления (рисунок 1).

Искусственное лесовосстановление применяется в основном на участках, где естественное восстановление затруднено или существует угроза смены породного состава на менее ценные виды. По состоянию на 01.01.2024 г. площадь непокрытых лесом земель в Приморье составила 53,6 тыс. га, в том числе: гари – 6,6 тыс. га, погибшие насаждения – 0,1 тыс. га, вырубки – 14,5 тыс. га, прогалины и пустыри – 32,4 тыс. га.

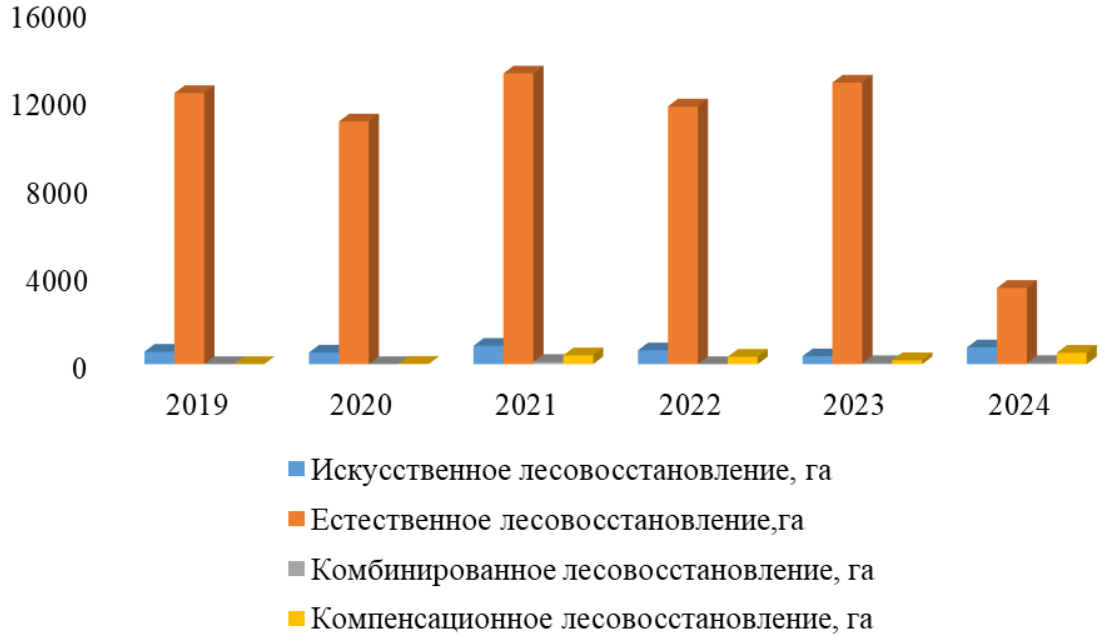


Рисунок 1 – Объемы лесовосстановления в Приморском крае

Накопление невосстановленных участков, а также постоянное появление новых (вследствие не возобновляющихся вырубок и гарей) указывает на необходимость ускоренного развития лесокультурного дела в регионе. В 1960-х годах ассортимент пород, используемых при лесовосстановлении, насчитывал около 30 видов. В тот период основной культурной породой была сосна корейская, что объяснялось высокой востребованностью хвойно-широколиственных лесов при лесозаготовках. Сегодня перечень ключевых пород включает: сосну корейскую, ель аянскую (*Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch. ex Carr.), лиственницу даурскую (*Larix dahurica* Thurz. et Trautv.), дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), орех маньчжурский, ильмы. Заготовка лесосеменного сырья демонстрирует значительную межгодовую изменчивость при общей тенденции к наращиванию объемов (рисунок 2).

Рисунок 2 – Объемы заготовленного лесосеменного сырья

Соответственно объемы и посева семян в питомниках края характеризуются выраженной межгодовой изменчивостью (рисунок 3). Однако следует подчеркнуть, что наблюдаемый рост производства посадочного материала для лесовосстановления обусловлен двумя ключевыми факторами: переориентацией на заготовку мелкохвойных семян и введением в эксплуатацию в 2023 году тепличного комплекса по выращиванию сеянцев с закрытой корневой системой (рисунок 4).

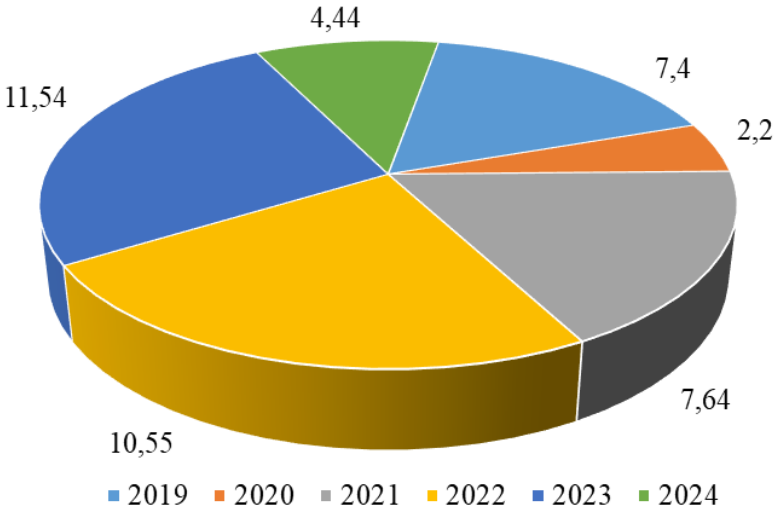


Рисунок 3 – Посев семян в Приморском крае, кг

Рисунок 4 – Объемы выращивания посадочного материала, тыс.шт.

Посадка лесных культур в Приморском крае осуществляется преимущественно в весенний период. Работы выполняются вручную на специально подготовленных участках с полосной обработкой почвы. При создании сплошных культур преимущественно применяется рядовой способ посадки, обеспечивающий равномерное распределение саженцев. В отдельных случаях используется биогрупповой метод размещения растений, который хотя и применяется реже, но может быть эффективен для определенных пород и условий местопроизрастания.

За весь период ведения лесокультурных работ в регионе (начиная с 1942 года) было создано 86,9 тыс. га лесных насаждений. Однако результаты мониторинга показывают низкую эффективность этих мероприятий: 36 % посадок полностью погибли; 63 % сохранившихся насаждений находятся в неудовлетворительном состоянии; лишь 1 % культур соответствует критериям удовлетворительного и хорошего состояния.

Анализ современной динамики рубок ухода выявляет общую тенденцию к сокращению их объемов. Однако стоит отметить, что в течение последних двух лет наблюдается увеличение интенсивности проведения рубок ухода в молодняках (рисунок 5).

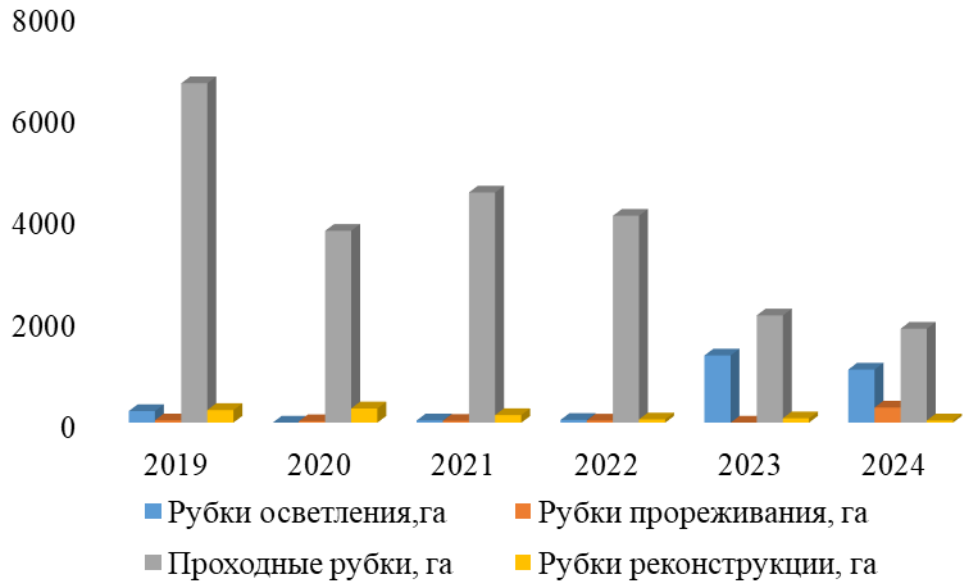


Рисунок 5 – Рубки ухода за лесом

Анализ показывает, что основной ущерб лесным посадкам в регионе наносят: природные пожары; экстремальные погодные условия и почвенно-климатические особенности; повреждения дикими животными; антропогенное воздействие.

В 2024 году осуществлен перевод 9018,3 га земель, предназначенных для лесовосстановления, в категорию покрытых лесом площадей. При этом: за счет искусственного лесовосстановления – введено в категорию хозяйственно-ценных насаждений 30,4 га хвойных пород; за счет естественного возобновления – переведено 2682,4 га ценных древостоев, в том числе: 2375,2 га хвойных пород и 2689,7 га твердолиственных пород.

Полученные данные демонстрируют, что естественное возобновление продолжает играть ключевую роль в восстановлении лесного фонда региона, обеспечивая основной объем вводимых в эксплуатацию молодняков. Однако эффективность искусственного лесовосстановления остается на крайне низком уровне, что требует пересмотра применяемых технологий и методов ухода за культурами.

Выводы. Для эффективного лесовосстановления в Приморском крае – регионе со сложными природно-климатическими условиями и исключительно высоким биоразнообразием – необходим системный подход, включающий:

- ✓ приоритетное использование процессов естественного возобновления;
- ✓ своевременное выполнение мероприятий по содействию естественному лесовозобновлению;
- ✓ дифференцированное применение искусственного лесовосстановления;
- ✓ использование технологий сохранения подроста при лесозаготовках;
- ✓ реализацию комплекса противопожарных мероприятий;
- ✓ интенсификацию искусственного лесовосстановления на деградированных территориях;
- ✓ масштабную реконструкцию малоценных насаждений (особенно в южных, наиболее антропогенно-трансформированных районах).

Реализация предложенного комплекса мер позволит существенно повысить эффективность восстановления продуктивных лесных экосистем в регионе.

Список литературы

1. Ковалев А. П. О перспективах эффективного лесопользования лесов на Дальнем Востоке // Состояние лесов и актуальные проблемы лесоуправления: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Хабаровск, 2013. С. 39-43.

2. Ковалев А. П., Алексеенко А. Ю., Лашина Е. В. О лесных культурах в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока // Аграрный вестник Приморья. 2021. № 2(22). С. 67-71.

3. Ковалев А. П., Шелопугина С. В., Матвеева А. Г. Об эффективности восстановления лесов на Дальнем Востоке // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2015. № 2(37). С. 23-28.

4. Корякин В. Н. Результативность лесокультурного производства в Дальневосточном регионе // Научные основы использования воспроизводства лесных ресурсов Дальнего Востока: сборник трудов. Хабаровск, 2003. Вып. 36. С. 205-213.

5. Павленко И. А. Искусственное лесовосстановление на Дальнем Востоке. Уссурийск: Приморский с.-х. ин-т, 1979. 92 с.

6. Приходько О. Ю. Состояние лесных культур в Приморском крае // Лесное хозяйство: материалы 89-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 3-18 февр. 2025 г. Минск: Белорус. гос. технол. ун-т, 2025. С. 437-442. EDN TIPBXH.

7. Чувасов Е. В. О результатах работы Министерства лесного и охотничьего хозяйства Приморского края в 2024 году. Владивосток, 2025. 68 с. URL: https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/knigi-i-stati/ (дата обращения: 01.07.2025).

References

1. Kovalev A. P. On the prospects of effective forest management in the Far East // State of forests and actual problems of forest management: proceedings of the All-Russian Conference with international participation. Khabarovsk, 2013. pp. 39-43.

2. Kovalev A. P., Alekseenko A. Yu., Lashina E. V. On forest crops in coniferous and broadleaf forests of the Far East // Agrarian Bulletin of Primorye. 2021. No. 2(22). pp. 67-71.

3. Kovalev A. P., Shelopugina S. V., Matveeva A. G. On the effectiveness of forest restoration in the Far East // Bulletin of the Pacific State University. 2015. No. 2(37). pp. 23-28.

4. Koryakin V. N. The effectiveness of forest production in the Far Eastern region // Scientific foundations of the use of reproduction of forest resources of the Far East: proceedings. Khabarovsk, 2003. Issue 36. pp. 205-213.

5. Pavlenko I. A. Artificial reforestation in the Far East. Ussuriysk: Primorsky Agricultural Institute, 1979. 92 pages .

6. Prikhodko O. Y. The state of forest crops in Primorsky Krai // Forestry: proceedings of the 89th scientific and technical conference of faculty, researchers and postgraduates (with international participation), Minsk, February 3-18, 2025 Minsk: Belarusian State Technical University. Univ., 2025. pp. 437-442. EDN TIPBXH.

7. Chuvasov E. V. On the results of the work of the Ministry of Forestry and Hunting of Primorsky Krai in 2024. Vladivostok, 2025. 68 p. URL: https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/knigi-i-stati / (date of access: 07/01/2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_133-136
УДК 630 235.2

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПОДПОЛОГОВЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Проказин Н.Е.
канд. с-х наук, заведующий отделом лесовосстановления и семеноводства ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино, Россия
Родин С.А.
д-р с-х наук, академик РАН, заместитель директора по научной работе ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино, Россия
Казаков И.В.
д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий, внедрения и лесного проектирования ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино, Россия
Лобанова Е.Н.
канд. с-х наук, ведущий научный сотрудник отдела лесовосстановления и семеноводства ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино, Россия
Сахнов В.В.
канд. биол. наук, руководитель группы лесоводства и лесных культур филиала ФБУ ВНИИЛМ «Восточно-европейская ЛОС», г. Казань, Россия

Аннотация.
Исследования, проведенные в лесных культурах сосны обыкновенной, созданных под пологом насаждений с полнотой 0,5, показали, что при этой полноте обеспечивается освещенность, достаточная для формирования высоких показателей роста и приживаемости однолетних культур.

Ключевые слова: лесные культуры под пологом, возобновление, освещенность, насаждение.

EXPERIENCE OF CREATING UNDERCOVER CULTURES OF SCOTS PINE IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

N.E. Prokazin
Candidate of Agricultural Sciences,
Head of the Department of Forest Restoration and Seed Production VNIILM, Pushkino, Russia
S.A. Rodin
Doctor of Agricultural Sciences,
academician of RAS,
Deputy Director for Research VNIILM, Pushkino, Russia
I.V. Kazakov
Doctor of Technical Sciences,
Leading Researcher, Department of Innovative Technologies, Implementation, and Forest Design VNIILM, Pushkino, Russia
E.N. Lobanova
Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher, Department of Forest Restoration and Seed Production VNIILM, Pushkino, Russia

© Проказин Н. Е., Родин С. А., Казаков И. В., Лобанова Е. Н., Сахнов В. В., 2025

V.V. Sakhnov
Candidate of biological sciences,
Head of the Silviculture and Forest Crops Group VNIILM Branch,
East European Forest Treatment Plant, Kazan, Russia

Abstract.
Research conducted on Scots pine forest plantations established under canopy stands with a canopy density of 0,5 has shown that this density provides sufficient light to promote high growth rates and survival of annual crops.
Keywords: canopy forest plantations, regeneration, light, planting.

Искусственное лесовосстановление проводится в случае, если невозможно обеспечить естественное лесовосстановление или нецелесообразно комбинированное лесовосстановление хозяйственно ценными лесными древесными породами.

В целях изменения имеющегося состава и структуры малоценных и низкополнотных лесных насаждений проводится создание лесных культур под пологом леса [1…3].

Создание лесных культур сосны обыкновенной на вырубках и под пологом леса и уход за ними в Республике Татарстан проводится по единой технологии: бороздная подготовка почвы плугами ПКЛ-70 и ПЛ-1, расстояние междурядий 3 – 4 м, посадка механизированная сажалками МЛУ-1 и МЛУ-1А, посадочный материал – 4-летние сеянцы с открытой корневой системой или одно -двухлетние с закрытой корневой системой, шаг посадки 0,5 – 0,75 м, густота 3,5 – 5,0 тыс. шт./га, агротехнический уход культиватором КЛБ-1,7, лесоводственные уходы в молодняках проводятся с использованием кусторезов, прореживания и проходные рубки с использованием агрегатной техники или малыми комплексными бригадами [4].

Натурные обследования проведены в 2025 г. на территории Айшинского участкового лесничества на 3 объектах, расположенных в зоне хвойно-широколиственных лесов. На объектах исследования были заложены пробные площади (ПП) размером 20 х 40 м по общепринятой в лесной таксации методике [5]. На ПП проводился перечет деревьев с разделением по породам, определялась их высота и прирост [6]. Количество деревьев на ПП составляло не менее 100 шт., количество деревьев культур сосны на учетных отрезках не менее 70 шт. Обработка материала проведена на персональном компьютере стандартными методами с использованием прикладных программ математической статистики. Всего проанализированы данные лесных культур сосны на площади порядка 5,0 га.

Объект №1. Лесные культуры сосны обыкновенной 2025 г., в кв. 26 выд. 28 Айшинского участкового лесничества на площади 1,6 га, состав насаждения 8С2С+Б, полнота 0,5. Схема смешения пород С-С-С, размещение 3,5 х 1,3 м, высажено 2,2 тыс.шт./га, сеянцы с закрытой корневой системой, двухлетние. На участке имеется подрост сосны обыкновенной до 500 шт./га, подрост березы повислой до 1000 шт./га.

Объект №2. Лесные культуры сосны обыкновенной 2025 г., кв. 28 выд. 66, 7, 10, 11 Айшинского участкового лесничества на площади 2,7 га, состав насаждения 10С+Б+Е, полнота 0,5. Схема смешения С-С-С, размещение 3,0 х 1,5 м, высажено 2,0 тыс.шт./га, сеянцы с закрытой корневой системой, двухлетние. На участке имеется подрост сосны обыкновенной до 1000 шт./га, единичный подрост березы повислой.

Объект №3. Лесные культуры сосны обыкновенной 2025 г., в кв. 67 выд.26. Айшинского участкового лесничества на площади 0,7 га, состав насаждения 6С4Б полнота 0,5. Схема смешения С-С-С, размещение 3,5 х 1,3 м, высажено 2,0 тыс.шт./га, сеянцы с закрытой корневой системой, двухлетние. На участке имеется подрост сосны обыкновенной до 1000 шт./га, единичный подрост березы повислой.

На всех трех объектах присутствуют всходы сосны обыкновенной и березы повислой. На объекте №1 и №2 единично присутствуют всходы ели европейской. Основная масса естественного возобновления по всем породам, находится в фазе всходов, которые при ненадлежащим уходе или вследствие погодных условий могут погибнуть. Данные породы

являются ценными и необходимо их сохранять при проведении лесоводственных уходов. Своевременное проведение лесоводственных уходов на участках лесных культур с примесью мягколиственных и хвойных пород будут способствовать формированию сосняков смешанного состава.

Результаты обследования культур сосны представлены в таблице 1.

Полученные данные (таблица 1) свидетельствуют о достаточной освещенности под пологом насаждений с полнотой 0,5, что обеспечивает высокие показатели роста и приживаемости однолетних культур сосны.

Таблица 1 – Показатели однолетних культур сосны на опытных объектах

Объекты	Высота, см M±m	Диаметр корневой шейки, см M±m	Прирост за год, см M±m	Освещенность участка в люксах (средняя)	Приживаемость,%
Объект №1	38,5 ± 0,5	4,8 ± 0,2	9,8 ± 0,4	9220,1	95,3
Объект №2	34,4 ± 0,1	4,6 ± 0,3	7,5 ± 0,3	8380,5	94,6
Объект №3	40,3 ± 0,3	5,4 ± 0,2	13,3 ± 0,5	15150,2	87,9
Fr	11,4	22,5	10,5		
Ft	8,4				

Fr – критерий Фишера расчетный, Ft – критерий Фишера табличный.

Список литературы

1. Приказ МПР Российской Федерации от 29 декабря 2021 г. № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления».

2. Danell, O. Possible Gains in Initial Stages of a National Tree Improvement Programme Using different Techniques / O. Danell // Proceedings from the Nordic tree breeders meeting. Denmark, 1990. – P. 11 – 30.

3. Hanners, M. Timing of Seed Dispersal in Pinus sylvestris Stands in Central Sweden / M. Hanners, C. Almqvist, R. Hörnfeldt // Silva Fennica, 2002. – № 36 (4). – P. 757 – 764.

4. Анализ состояния лесных культур ели в республике Татарстан / И.К. Сингатуллин, Х.Г. Мусин, А.Р. Мухаметшина, Г.А. Петрова // Санкт-Петербург: Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.– 2020. Вып. 231. – С. 41-53.

5. ОСТ 56-63–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. 60 с.

6. Анучин Н. П. Лесная таксация: [Учеб. для лесохоз. и лесоинж. спец. вузов] / Н. П. Анучин. - 5-е изд., доп. - Москва : Лесная промышленность, 1982. - 552 с.

References

1. Order of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation No. 1024 dated December 29, 2021 "On Approval of the Rules of Reforestation, the form, composition, procedure for approving the reforestation project, the grounds for refusal to approve it, as well as the requirements for the format in electronic form of the reforestation project."

2. Danell, O. Possible Gains in Initial Stages of a National Tree Improvement Program Using Different Techniques / O. Danell // Proceedings from the Nordic tree breeders meeting. Denmark, 1990. – P. 11 – 30.

3. Hanners, M. Timing of Seed Dispersal in Pinus sylvestris Stands in Central Sweden / M. Hanners, C. Almqvist, R. Hörnfeldt // Silva Fennica, 2002. – № 36 (4). – P. 757-764.

4. Analysis of the state of spruce forest crops in the Republic of Tatarstan / I.K. Singatullin, H.G. Musin, A.R. Mukhametshina, G.A. Petrova // St. Petersburg: Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. – 2020. Issue 231. – pp. 41-53.

5. OST 56-63-83. Trial forest management areas. The bookmark method. Moscow, 1983. 60 s.

6. Anuchin N. P. Forest taxation: [Textbook for forestry. and the forest engineer. spec. universities] / N. P. Anuchin. - 5th ed., supplement. Moscow: Forest Industry Publ., 1982. 552 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_137-144
УДК 630.24

ПОВРЕЖДЕНИЕ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ

Ж. Раван
аспирант кафедры «Лесоводства»
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова г. Санкт-Петербург, Россия
О.И. Григорьева
к. с.-х. наук, доцент кафедры «Лесоводства»
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова г. Санкт-Петербург Россия

Аннотация. Актуальность исследования проблемы повреждений деревьев при рубках ухода обусловлена необходимостью поиска оптимального баланса между хозяйственной целесообразностью проведения рубок и минимизацией их негативного воздействия на лесные экосистемы. Особую значимость эта проблема приобретает в условиях возрастающих требований к устойчивому лесопользованию и сохранению биологического разнообразия лесных экосистем.

Ключевые слова: Рубки ухода, повреждения корней, повреждения ствола, устойчивое лесопользование, негативные последствия рубок

DAMAGE TO TREES DURING LOGGING AND FOREST MAINTENANCE

Zh. Ravan
postgraduate student of the Department of Forestry
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia
O.I. Grigoreva
candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry
St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia

Abstract. The relevance of studying the problem of tree damage during thinning is due to the need to find an optimal balance between the economic feasibility of thinning and minimizing its negative impact on forest ecosystems. This problem becomes particularly important in the context of increasing demands for sustainable forest management and the preservation of the biological diversity of forest ecosystems.

Keywords: Care felling, root damage, trunk damage, sustainable forest management, negative consequences of logging

Рубки ухода за лесом представляют собой важнейший элемент современного лесного хозяйства, направленный на формирование высокопродуктивных и устойчивых лесных насаждений. Однако практика показывает, что при проведении данных мероприятий неизбежно возникают повреждения остающихся на доращивание деревьев, которые могут существенно снижать их жизнеспособность и продуктивность [6] Актуальность исследования проблемы повреждений деревьев при рубках ухода обусловлена необходимостью поиска оптимального баланса между хозяйственной целесообразностью проведения рубок и минимизацией их негативного воздействия на лесные экосистемы. Особую значимость эта

© Раван Ж., Григорьева О. И., 2025

проблема приобретает в условиях возрастающих требований к устойчивому лесопользованию и сохранению биологического разнообразия лесных экосистем.

Повреждения деревьев во время рубок ухода представляют собой сложное явление, которое существенно влияет на жизнеспособность деревьев в зависимости от применяемых методов рубок лесных насаждений, включая схемы разработки лесосек (схемы размещения сети трелевочных волоков) и используемой техники [8-12]. В современной практике лесопользования такие повреждения принято классифицировать на два основных типа:

Механические повреждения являются наиболее распространёнными и включают поверхностные и глубокие раны на коре, сломы ветвей, а также повреждения корней, вызванные движением тяжёлой техники. По оценкам, этот тип составляет около 85% всех случаев, возникая, как правило, в результате прямого контакта с техникой, такой как тракторы или машины для заготовки древесины во время валки или транспортировки.

Биологические повреждения развиваются как вторичное последствие механических травм: открытые раны становятся входными воротами для грибов и насекомых-вредителей, что приводит к развитию гнилей и снижению качества древесины. Со временем такие поражения могут усугубляться и повышать риск гибели деревьев [2].

В этом контексте исследователи Han-Sup Han и Loren D. Kellogg провели оценку повреждений оставшихся деревьев после проведения рубок ухода в лесах западной части США на насаждениях дугласовой пихты. В исследовании были использованы четыре распространённые системы заготовки древесины: тракторы, система разделения по длине (cut-to-length), канатные системы и вертолёты. Наиболее часто встречающимся видом повреждений оказались раны на стволах, особенно при использовании наземных транспортно-технологических систем, таких как лесопромышленные тракторы и трелевочные системы на их базе. Были зафиксированы как поверхностные, так и глубокие повреждения коры, а также повреждения корней, особенно вблизи трелёвочных трасс и технологических коридоров [20].

В Южной Корее другая группа исследователей изучала влияние трёх видов рубок ухода на повреждения остающихся деревьев: выборочная ручная рубка, ручная полосная рубка и механизированная полосная рубка. Результаты показали различия в характере повреждений в зависимости от метода: при полосной рубке повреждения в основном сосредоточены на стволах и у основания деревьев, в то время как при выборочной рубке чаще всего страдали корни. Также было отмечено, что размеры ран были больше при выборочной рубке по сравнению с другими методами, что подчёркивает значительное влияние технологии проведения работ на характер и локализацию повреждений [19].

Анализ причин повреждений деревьев при рубках ухода выявляет несколько основных факторов, влияющих на интенсивность и характер повреждений. Технологические факторы, например, включают тип используемой техники. Тяжелая техника, такая как тяжелые лесопромышленные тракторы, может вызвать большие повреждения по сравнению с современным оборудованием, таким как харвестеры, поскольку степень воздействия зависит от конструкции и метода использования. Кроме того, техника, при неправильной эксплуатации, может привести к более глубоким разрывам коры.

Также важным фактором является подготовка операторов; неопытные операторы могут вызвать значительные повреждения из-за невозможности правильно контролировать машины или правильно обращаться с деревьями, в то время как опытные операторы значительно снижают эти повреждения. Время проведения работ также оказывает влияние: выполнение операций в определенные сезоны года, например зимой, может уменьшить повреждения корней из-за замерзшей почвы, которая менее подвержена повреждениям [5].

Природные факторы, в свою очередь, имеют большое значение. Порода дерева значительно влияет на вероятность повреждения. Хвойные деревья, например, более подвержены повреждениям, чем лиственные, из-за особенностей коры и структуры древесины. Молодые деревья, особенно в фазе роста, также более уязвимы к повреждениям. Кроме того, важными являются почва и рельеф: влажные почвогрунты могут усугубить повреждения корней, в то время как крутые участки склонов создают дополнительные

трудности для доступа к деревьям, что увеличивает вероятность их повреждений, включая корневые системы [2].

Организационные факторы включают правильный выбор деревьев для рубки и точность выполнения плана работы. Ошибки в выборе деревьев или методах рубки могут неожиданно привести к увеличению повреждений.

В исследовании, проведённом в 2012 г. в Барановичском лесу Левковской М.В. и Сарнацким В.В. [5], была проведена оценка состояния деревьев, оставшихся после проведения рубок ухода. Результаты показали, что характер, тип, размер и расположение повреждений деревьев в значительной степени зависят от таких факторов, как начальная густота насаждений, возраст деревьев и интенсивность рубки. Установлено, что основной причиной большинства повреждений являются технические нарушения при выполнении работ, особенно при использовании современной многооперационной техники, такой как харвестеры (валочно-сучкорезно-раскряжевочные машины) и форвардеры (сортиментоподборщики). Наиболее опасными считаются повреждения ствола, корней, прикорневой части и кроны, так как они часто приводят к развитию гнили и грибковых заболеваний [5] .

Когда оставшиеся деревья после проведения рубки подвергаются различным повреждениям, это оказывает влияние на их рост и качество древесины. Например, повреждение коры и внутренних слоев деревьев приводит к ухудшению процессов фотосинтеза, транспортировки воды и питательных веществ. Это физиологическое ухудшение замедляет рост оставшихся деревьев и может ослабить их способность расти здоровыми.

Кроме физиологических последствий, наблюдается явное влияние на качество древесины поврежденных деревьев. Деревья, подвергшиеся сильным повреждениям, становятся уязвимыми для развития грибков и вредителей, что приводит к гниению древесины и снижению её качества. Некоторые деревья могут иметь деформации ствола, такие как изгибы или трещины, что уменьшает их коммерческую ценность [21].

В исследовании, проведенном Tavankar и др. (2020), отслеживались изменения, произошедшие в ранах, полученных деревьями после проведения очистки, на протяжении трех лет. Результаты показали, что повреждения оставшихся деревьев были в основном результатом операций по рубке и извлечению древесины, с концентрацией повреждений в стволе и кроне. Раны были значительными в начале, но со временем они уменьшались [20].

Также было установлено, что поврежденные деревья показали снижение прироста диаметра по сравнению с здоровыми деревьями. Повреждения корней усилили снижение прироста, в то время как тяжелые повреждения, такие как раны на древесине, привели к более значительному сокращению прироста диаметра.

Повреждения, возникающие в результате ухода за лесом, особенно если они не проводятся тщательно (например, игнорирование подходящей густоты, неправильное время выполнения или использование тяжелой техники без контроля), приводят к цепи негативных изменений в экосистеме леса. Когда деревья получают повреждения или травмы во время вырубки, происходят изменения в местной среде, изменяется микроклимат под пологом леса, что приводит к повышению температуры и снижению влажности. Эти изменения влияют на условия освещенности и препятствуют возобновлению главных пород. Эти трансформации могут привести к появлению альтернативных растительных видов с меньшей экологической ценностью, что воздействует на биологическое разнообразие, уменьшая растительный покров и снижая численность видов. Кроме того, поврежденные деревья становятся очагами для размножения вредителей и грибковых заболеваний, что усложняет восстановление леса. С повторяющимися повреждениями с течением времени экосистема леса ухудшается, и восстановление здоровья леса становится затруднительным. Эти эффекты усиливаются при повторных рубках, что приводит к необратимым изменениям в биологическом составе леса на долгосрочную перспективу [13].

Современное использование лесов требует применения эффективных методов, направленных на снижение повреждений деревьев, оставшихся после проведения вырубки, особенно в районах, страдающих от истощения древесных ресурсов. Одним из наиболее

повреждающих этапов является процесс трелевки древесины, когда часто страдают молодые деревья - целевые растения для роста, а также почвенный покров и корни.

Одним из перспективных технологических решений является организация движения лесных машин и трелевочных систем на их базе на изогнутых (на прямых) маршрутах, что способствует сохранению групп саженцев и снижает риск повреждения мелких деревьев, хотя и увеличивает среднее расстояние трелевки, снижая производительность и повышая энергоемкость. Кроме того, можно укреплять трелевочные волоки порубочными остатками, или иными временными дорожными конструкциями, особенно в летний период, что эффективно снижает эрозию почвы и повреждения корней [4] .

Особое внимание уделяется защите стволов деревьев, расположенных рядом с маршрутами для перевозки древесины или на поворотах. Для этой цели в России была разработана защитная конструкция, запатентованная. Эта конструкция состоит из сборного каркаса, изготовленного из тонких деревьев, непригодных для использования, который устанавливается вокруг ствола с помощью гибких проволок. Такая конструкция защищает от обрушения коры и повреждения ствола при прохождении техники. Таким образом, сочетание простых технологических решений и специальных защитных устройств значительно способствует снижению негативных последствий вырубки и увеличивает экологическую безопасность лесоуправленческих мероприятий [3].

Для системного решения проблемы необходимо принять комплексные организационные меры на различных уровнях управления. В сфере правовых норм важно разработать региональные стандарты для проведения рубок ухода, внедрить экологические требования к технологиям и усилить контроль за соблюдением нормативных актов. Особое внимание следует уделить политике в области кадров, такой как создание системы непрерывного обучения для операторов, введение сертификации специалистов и организация регулярных тренингов по технологиям минимизации негативных воздействий [7] .

Современные методы мониторинга включают использование беспилотных летательных аппаратов для быстрой оценки повреждений, использование географических информационных систем (ГИС) для планирования рубок и внедрение автоматизированных систем регистрации. Крайне важно проводить контроль после операции, оценив ущерб через 1, 3 и 5 лет после рубки, анализируя развитие состояния деревьев, и затем корректировать технологии на основе этих данных [1].

Международный опыт подтверждает эффективность этих методов: в Финляндии система сертификации операторов позволила снизить ущерб на 30%, в Германии использование ГИС-технологий улучшило процессы рубок, а в Швеции мониторинг после операции сократил повторяющиеся повреждения на 25%. Для реализации этих мер необходимо улучшить правовую основу, инвестировать в оборудование, развивать систему обучения сотрудников и внедрять цифровые технологии для контроля [1].

Экономический анализ подтверждает целесообразность таких инвестиций: профилактические затраты окупаются через 5-7 лет благодаря сохранению качества древесины, снижению потерь в последующих операциях и сокращению расходов на обновление лесов. Это делает предложенные меры экономически оправданными и перспективными для внедрения в лесоводческую практику [6].

Также важно поддерживать постоянные научные исследования по воздействию рубок ухода на различные экосистемы. Необходимо выделять финансирование на исследования новых методов рубок лесных насаждений, технических и технологических решений, которые могут помочь уменьшить экологические ущербы, не снижая, или несущественно снижая, экономическую эффективность рубок. Например, изучение воздействия прерывистых рубок или рубок с низкими интенсивностями. Существенный вклад в решение данных задач, в настоящее время вносят участники ведущей отечественной научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» [14, 15, 17, 18]. Использование (апробация) результатов их разработок, в перспективе, может помочь в

решении проблемы повышения эксплуатационной и экологической эффективности проведения рубок лесных насаждений, включая рубки ухода за лесом.

Например, с одной стороны, укрепление ездовой поверхности трелевочных волоков, снижение рейсовой нагрузки трелевочных систем, прокладка извилистых трелевочных волоков приводят к дополнительным затратам, снижению производительности, повышению энергоемкости рубок ухода за лесом. С другой стороны, существенное снижение повреждаемости оставляемых на доращивание деревьев, включая их корневые системы, а также других компонентов лесной среды, позволит в процессе последующего лесовыращивания получить большее количество товарно-ценной древесины, что должно окупить повышение расходов на средощадящие технические и технологические приемы.

Повреждения оставляемых на доращивание деревьев в ходе проведения рубок ухода за лесом являются системной проблемой, которая негативно влияет на экономическую продуктивность лесов и стабильность их экосистем. Современные технологии, такие как использование средощадящей техники и технологий рубок лесных насаждений, выбор оптимального времени для рубки, а также обучение работников, являются одними из самых эффективных средств для снижения повреждений на 30–50%. Экономический анализ показал эффективность этих мер, так как они способствуют сохранению большего объема древесины, пригодной для реализации, снижают расходы на восстановление лесов и улучшают качество конечного продукта. Снижение повреждений помогает сохранить биологическое разнообразие, поддерживать естественное возобновление и уменьшать вероятность распространения вредителей и болезней. Таким образом, будущее должно сосредоточиться на разработке адаптивных технологий, соответствующих особенностям различных типов лесов, расширении использования цифровых систем мониторинга и внедрении принципов устойчивого лесоуправления для обеспечения баланса между использованием леса и сохранением его экологических функций.

Список литературы

1. Большаков Б. М., Андрюшин М. И., Дороничева Е. В. Развитие технологий и машин при рубках ухода за лесом в Финляндии и Швеции // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. – 2019. – № 2. – С. 111–128. – URL: http://lhi.vniilm.ru/.

2. Гурьев А.Ю., Шапиро В.Я., Каляшов В.А., Морковин В.А., Дьяченко В.М., Григорьев И.В. Оценка влияния типа движителя лесной машины на процесс уплотнения почвогрунта при работах на склонах // Лесотехнический журнал. - 2024. - Т. 14. № 3 (55). - С. 152-167.

3. Заикин А.Н., Сиваков В.В., Шевелева Е.В. Методы снижения повреждаемости стволов деревьев при выборочных и санитарных рубках леса // Лесной журнал. — 2019. — № 4. — С. 200–211.

4. Каляшов В.А., Гурьев А.Ю., Григорьев И.В. Актуальные вопросы в исследованиях воздействия движителей лесных машин на почвогрунты лесов криолитозоны на склонах // Энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса - 2025. Материалы международной научной конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне. Воронеж, - 2025. - С. 23-26.

5. Левковская М.В., Сарнацкий В.В. Особенности повреждений деревьев в результате проведения рубок ухода в сосняках с использованием агрегатных лесозаготовительных машин и механизмов (на примере ГЛХУ «Барановичский лесхоз») // Вестник Брянского университета Секция 5, Химия, Биология, Науки о Земле. – 2012. – № 2. – С. 29–33.

6. Сеннов С. Н. Лесоведение и лесоводство. – М.: Академия, 2005. – 256 с. – С. 174–179.

7. ФАО. Типы инноваций в лесах и деревьях. – Режим доступа: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/460a45bb-b2ec-4ceb-8bbf-2ea6cc8b9717/content/src/html/types-innovation-forests-trees.html. – Дата обращения: 15 апреля 2025.

8. Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Деформация и циклическое уплотнение почвогрунта между грунтозацепами крупногабаритных лесных шин // Техника и технология. - 2006. - № 2. - С. 94-100.

9. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И. Оценка процессов деформирования почвы при циклическом уплотнении // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2008. - № 4. - С. 44-51.

10. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И., Иванов В.А. Исследование механических процессов циклического уплотнения почвогрунта при динамических нагрузках // Вестник КрасГАУ. - 2008. - № 1. - С. 163-175.

11. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнения почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока с учетом изменчивости трассы движения // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. - 2010. - № 6 (111). - С. 61-64.

12. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Рудов С.Е., Жукова А.И. Модель процесса циклического уплотнения грунта в полосах, прилегающих к трелевочному волоку // Вестник КрасГАУ. - 2010. - № 2 (41). - С. 8-14.

13. D'Amato, A. W., Bradford, J. B., Fraver, S., & Palik, B. J. (2013). Effects of thinning on drought vulnerability and climate response in north temperate forest ecosystems // Ecological Applications, 23(8), 1735–1742. https://doi.org/10.1890/13-0095.1.

14. Grigorev I., Burgonutdinov A., Makuev V., Tikhonov E., Shvetsova V., Timokhova O., Revyako S., Dmitrieva N. The theoretical modeling of the dynamic compaction process of forest soil // Mathematical Biosciences and Engineering. 2022. Т. 19. № 3. С. 2935-2949.

15. Grigorev I., Kunickaya O., Tikhonov E., Hertz E., Druzyanova V., Timokhova O., Ivanov V., Kruchinin I. Dynamic impact of wheeled skidders on forest soil in felling areas // Journal of Terramechanics. 2022. Т. 101. С. 1-9.

16. Han-Sup, H., & Kellogg, L. D. (2000). Damage characteristics in young Douglas-fir stands from commercial thinning with four timber harvesting systems. Western Journal of Applied Forestry, 15(1), 27–33.

17. Hertz E., Guriev A., Druzyanova V., Revyako S., Markov O., Perfiliev P., Grigorev I. Impact assessment of different propulsion systems in forestry machinery on soil properties // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2024. Т. 11. № 1. С. 133-140.

18. Khakhina A.M., Grigorev I.V., Dolmatov N.P., Makuev V.A., Kruchinin I.N., Storodubtseva T.N., Burgonutdinov A.M., Markov O.B. Predicting the passability of wheeled tractors // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2022. Т. 9. № 5. С. 1233-1242.

19. Lee E., Lee S.-T., Mun H.-S., Chung S., & Oh, J.-H. (2024). Assessing the Residual Stand Damage after Thinning with Different Levels of Mechanization. Forests, 15(5), 1–10. https://doi.org/10.3390/f15050794.

20. Tavankar, F., Nikooy, M., Lo Monaco, A., Latterini, F., Venanzi, R., & Picchio, R. (2020). Short-Term Recovery of Residual Tree Damage during Successive Thinning Operations. Forests, 11, 731. https://doi.org/10.3390/f11070731.

21. Yücesan, Z., Oktan, E., & Aydın, H. (2015). Effects of thinning on stand structure and tree stability in an afforested oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) stand in northeast Turkey. Journal of Forestry Research, 26(1), 123–129. https://doi.org/10.1007/s11676-015-0028-x.

References

1. Bolshakov B. M., Andryushin M. I., Doronicheva E. V. Development of technologies and machines in logging of forest care in Finland and Sweden [Electronic resource] // Logging company. inform.: electron. Network Journal, 2019, No. 2, pp. 111-128. URL: http://lhi.vniilm.ru.

2. Guryev A.Yu., Shapiro V.Ya., Kalyashov V.A., Morkovin V.A., Dyachenko V.M., Grigorev I.V. Assessment of the effect of the type of propulsion of a forest vehicle on the process of compaction of soil during work on slopes // Forestry Journal. - 2024. - Vol. 14. № 3 (55). - Pp. 152-167.

3. Zaikin A.N., Sivakov V.V., Sheveleva E.V. Methods of reducing damage to tree trunks during selective and sanitary logging // Forest Journal, 2019, No. 4, pp. 200-211.

4. Kalyashov V.A., Guryev A.Yu., Grigorev I.V. Topical issues in the research of the impact of forest machinery propellers on forest soils of cryolithozones on slopes // Energy-saving and environmentally safe technologies of the timber industry - 2025. Materials of the international scientific conference dedicated to the 95th anniversary of the VGLTU named after G.F. Morozov and the 80th anniversary of Victory in the Great Patriotic War. Voronezh, - 2025. - pp. 23-26.

5. Levkovskaya M.V., Sarnatsky V.V. Features of damage to trees as a result of logging in pine forests using aggregate logging machines and mechanisms (using the example of GLHU "Baranovichi forestry") // Bulletin of the Bryansk University Section 5, Chemistry, Biology, Earth Sciences. – 2012. – No. 2. – p. 29-33.

6. Sennov S. N. Forest science and forestry. Moscow: Akademiya, 2005. 256 p. – pp. 174-179.

7. FAO. Types of innovations in forests and trees. – Access mode: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/460a45bb-b2ec-4ceb-8bbf-2ea6cc8b9717/content/src/html/types-innovation-forests-trees.html. – Date of reference: April 15, 2025.

8. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V. Deformation and cyclic compaction of the soil between the grouters of large-sized forest tires // Engineering and Technology. - 2006. - No. 2. - pp. 94-100.

9. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Zhukova A.I. Evaluation of soil deformation processes during cyclic compaction // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal, 2008, No. 4, pp. 44-51.

10. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Zhukova A.I., Ivanov V.A. Investigation of mechanical processes of cyclic soil compaction under dynamic loads // Bulletin of KrasGAU, 2008, No. 1, pp. 163-175.

11. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Lepilin D.V., Zhukova A.I. Modeling of soil compaction in the lateral lanes of a skidding portage, taking into account the variability of the traffic route // Scientific Notes of Petrozavodsk State University. - 2010. - № 6 (111). - Pp. 61-64.

12. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Rudov S.E., Zhukova A.I. A model of the cyclic soil compaction process in strips adjacent to a skidding fiber. // KrasGAU Bulletin. - 2010. - № 2 (41). - Pp. 8-14.

13. D'Amato, A. W., Bradford, J. B., Fraver, S., & Palik, B. J. (2013). Effects of thinning on drought vulnerability and climate response in north temperate forest ecosystems // Ecological Applications, 23(8), 1735–1742. https://doi.org/10.1890/13-0095.1.

14. Grigorev I., Burgonutdinov A., Makuev V., Tikhonov E., Shvetsova V., Timokhova O., Revyako S., Dmitrieva N. The theoretical modeling of the dynamic compaction process of forest soil // Mathematical Biosciences and Engineering. 2022. T. 19. № 3. C. 2935-2949.

15. Grigorev I., Kunickaya O., Tikhonov E., Hertz E., Druzyanova V., Timokhova O., Ivanov V., Kruchinin I. Dynamic impact of wheeled skidders on forest soil in felling areas // Journal of Terramechanics. 2022. T. 101. C. 1-9.

16. Han-Sup, H., & Kellogg, L. D. (2000). Damage characteristics in young Douglas-fir stands from commercial thinning with four timber harvesting systems. Western Journal of Applied Forestry, 15(1), 27–33.

17. Hertz E., Guriev A., Druzyanova V., Revyako S., Markov O., Perfiliev P., Grigorev I. Impact assessment of different propulsion systems in forestry machinery on soil properties // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2024. T. 11. № 1. C. 133-140.

18. Khakhina A.M., Grigorev I.V., Dolmatov N.P., Makuev V.A., Kruchinin I.N., Storodubtseva T.N., Burgonutdinov A.M., Markov O.B. Predicting the passability of wheeled tractors // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2022. T. 9. № 5. C. 1233-1242.

19. Lee E., Lee S.-T., Mun H.-S., Chung S., & Oh, J.-H. (2024). Assessing the Residual Stand Damage after Thinning with Different Levels of Mechanization. Forests, 15(5), 1–10. https://doi.org/10.3390/f15050794.

20. Tavankar, F., Nikooy, M., Lo Monaco, A., Latterini, F., Venanzi, R., & Picchio, R. (2020). Short-Term Recovery of Residual Tree Damage during Successive Thinning Operations. Forests, 11, 731. https://doi.org/10.3390/f11070731.

21. Yücesan, Z., Oktan, E., & Aydın, H. (2015). Effects of thinning on stand structure and tree stability in an afforested oriental beech (Fagus orientalis Lipsky) stand in northeast Turkey. Journal of Forestry Research, 26(1), 123–129. https://doi.org/10.1007/s11676-015-0028-x.

DOI: 10.58168/Forestry2025_145-151
УДК 630 176

ПРАКТИЧЕСКИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ВКЛАД ВОРОНЕЖСКИХ ЛЕСОВОДОВ-СЕКЦИОНЕРОВ В ПОВЫШЕНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ И УЛУЧШЕНИИ КАЧЕСТВА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР

А.И. Сиволапов

к.с.-х.н., профессор кафедры «Лесных культур, селекции и лесомелиорации»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация.
На основе анализа многолетних опытных лесных культур сосны, лиственницы, дуба, березы, ольхи, тополя показаны направления и методы повышения продуктивности и качества лесных культур. Дано теоретическое обоснование предложенных методов селекции древесных растений (отбор, гибридизация, мутагенез, полиплоидия, биотехнология in vitro). Результаты опытов отмечены в рекомендациях, монографиях и учебных пособиях.

Ключевые слова: селекция древесных растений; виды отбора; гибридизация; мутагенез и полиплоидия; сорта древесных растений.

PRACTICAL AND THEORETICAL CONTRIBUTION OF VORONEZH SECTIONALIST FORESTERS TO INCREASE PRODUCTIVITY AND IMPROVING THE QUALITY OF FOREST CROPS

A.I. Sivolapov

Ph.D., Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Forest Reclamation, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.
Based on the analysis of long-term experimental forest crops of pine, larch, oak, birch, alder, poplar, the directions and methods of increasing productivity and quality of forest crops are shown. The theoretical justification of the proposed methods of breeding woody plants (selection, hybridization, mutagenesis, polyploidy, in vitro biotechnology) is given. The results of the experiments are noted in recommendations, monographs and textbooks.

Keywords: selection of woody plants; types of selection; hybridization; mutagenesis and polyploidy; varieties of woody plants.

Селекция древесных растений в Воронеже берет начало с выхода в свет книги по селекции дуба первого заведующего кафедрой лесоводства и декана лесохозяйственного факультета Воронежского сельскохозяйственного института В.П. Кобранова [4].

В.Н. Сукачев в первом номере журнала «Советская ботаника» в качестве основных установок селекции лесных древесных пород предлагал изучение формового разнообразия важнейших древесных пород, отбор и размножение лучших из них [17].

© Сиволапов А. И., 2025

На максимальное использование в селекции местного материала, выделение из него наиболее продуктивных, наиболее ценных форм, указывал Н.И. Вавилов [1]. Древесные растения живут дольше человека, поэтому это направление лесоводства имеет результаты, когда соблюдается преемственность поколений в изучении селекции того или иного вида растений. Первый заведующий кафедрой лесных культур Воронежского государственного лесотехнического института с 1931 г. Самофал С.А. уже почти сто лет назад представил докторскую диссертацию “Наследственность и изменчивость лесных пород и их значение для лесовыращивания” [18].

Но фундаментальные исследования в области селекции древесных растений в Воронеже можно отнести к послевоенным годам. Опираясь на предложения А.С. Яблокова [23], Ф.Л. Щепотьева [22], М.М. Вересина [2] о направлениях и методах лесной селекции и селекционного семеноводства в практической селекции рекомендуют последовательно применять три вида отбора: массовый, групповой, индивидуальный. В основе массового отбора лежат географические, экологические, типологические лесные культуры. В 1949-51 гг. заведовал кафедрой лесных культур Вересин М. М. и позднее, в 1951-54 гг. был заведующим и организатором новой кафедры – Дарвинизма, генетики и селекции до ее объединения с кафедрой лесоводства. М. М. Вересин был признан ведущим лесоводом-селекционером нашей страны [16]. За эти годы им создана обширная серия (десятки га) опытных насаждений сосны, лиственницы, ели, кедра, дуба, орехов, тополей, березы. В числе этих насаждений, имеющих важное научно-производственное значение, центральное место занимают культуры сосны, лиственницы, ели, дуба из семян разных географических пунктов и типов леса. Созданные им в Воронежском и Учебно-опытном лесхозах на площади около 40 га культуры сосны включали более 350 экотипов и являются уникальными и наиболее крупными в стране и в мире, представляя собой коллекцию экотипов сосны бывшего СССР. Теоретическое обоснование лесосеменного районирования сосны обыкновенной разработаны А.И. Чернодубовым [20].

Значительная дифференциация генофонда сосны обусловила ее успешное произрастание в весьма контрастных физико-географических и экологических условиях. Это послужило основой для подразделения Pinus sylvestris на многочисленные подвиды, разновидности, географические расы, климатические и эдафические экотипы [10].

Для успешного лесоразведения и лесовосстановления ее в довольно жестких условиях произрастания в отдельные годы, в связи с неурожаем, возникает необходимость переброски семян из соседних районов. Для этого было разработано лесосеменное районирование с учетом лесорастительных условий генотипического состава вида, но без учета ландшафтно-популяционной структуры [5].

Поэтому повышение качества работ по лесовыращиванию требует строгого упорядочения перемещения семян с учетом биоразнообразия видов и их географической и экологической изменчивости и разнообразия лесорастительных условий.

Основоположниками учения о ландшафтно-популяционной изменчивости признаков древесных растений является уральская школа генетиков и селекционеров [3 и др.], а также сотрудники института лесоведения [11 и др.].

Полученные данные по сохранности, росту, продуктивности, качеству стволов, морфометрическим показателям хвои экотипов сосны обыкновенной в географических культурах лесостепной зоны имеют противоречивый характер и не дают четкого ответа о преимуществах того или иного экотипа в данных лесорастительных условиях. Это является одним из недостатков селекции по фенотипическим признакам и возникает необходимость анализа полученных данных на популяционном уровне. Кроме того, фенотипические признаки зависят от факторов внешней среды, отмечает А.И. Чернодубов.

Для изучения ландшафтно-популяционной структуры сосны обыкновенной в лесостепной зоне им использовались методы многомерного анализа (кластерный, факторный).

Данные кластерного анализа некоторых признаков сосны обыкновенной в географических культурах также не дают четкого ответа на вопрос о связях основных показателей (диаметра, высоты) с другими признаками.

Корреляционный анализ изученных признаков и показателей географических культур сосны обыкновенной позволил выявить корреляционные связи между диаметром и сохранностью культур, причем эта зависимость обратная и высокая (r = -0,912), Диаметр ствола имеет высокую связь с объемом ствола (r = 0,989). Еще более высокие показатели связи с диаметром кроны (r = 0,710 и r = 0,885), что свидетельствует о том, что деревья с более развитой кроной имеют больший диаметр ствола. Высокие корреляционные связи выявлены между объемом ствола, диаметром и высотой ствола (r = 0,989 и т = 0,928), причем связь прямая: чем больше диаметр и высота, тем больше объем одного ствола.

Матрица факторных нагрузок изученных признаков сосны обыкновенной показывает, что главным признаком является диаметр насаждений (весовой коэффициент равен 0,979), дисперсия - 40,8 %. Вторым фактором (весовой коэффициент - 0,779) является объем одного ствола. Третий фактор - количество смоляных каналов (весовой коэффициент - 0,726).

Накопленная дисперсия трех основных факторов составляет 70,8 %.

Таким образом, в пределах исследуемых экотипов следует вести селекцию на максимальную общую продуктивность биомассы, а также лучшие качества ствола. Такими оказались калужский, владимирский, а так же не рекомендуемые действующим лесосеменным районированием московский, рязанский, белорусский, тверской [5].

В качестве усовершенствования действующего лесосеменного районирования необходимо отметить, что нецелесообразно использовать семена из Перми, Вологды, Ярославля, Новгорода (характеризующиеся низкими таксационными и качественными показателями насаждений).

Ведя селекцию на увеличение продуктивности, в случае неурожая в Воронежской области, переброска семян предпочтительна из Нижнего Новгорода и Брянска. Хотя эти климатипы и характеризуются более низкими качественными показателями (качество ствола, суковатость), но именно у них отмечены самые высокие показатели по диаметру и высоте, следовательно и высокая продуктивность насаждений.

На основании проекции данных на три главные оси нами были выделено двадцать четыре популяции сосны обыкновенной:

двинско-мезенская (северная);
ленинградская;
калининградская;
средне-волжская;
бассейн Рыбинского водохранилища (Вологда, Ярославль, Новгород);
северо-западная;
приволжско-вятская (Кострома, Мари-Эл, Киров);
средне-предуральская;
эстонская;
латвийская;
литовская;
Средне-Русская возвышенность;
верхнеднепровская;
пензенская;
владимирская;
смоленская;
тверская;
московская;
рязанская;
центральная;
левобережье реки Волги;

правобережье реки Волги;

приволжская;

центрально-черноземная (Усманский, Хреновской бор).

Выделенные популяции, в которые входят от одной до трех географических происхождений, приурочены к определенным почвенным экотипам (пески, известняки, болота) или ландшафтным структурам (горы, предгорья, низменности, возвышенности).

Переброска семян в случае неурожая предпочтительна внутри популяции или же между популяциями из северо-западных районов в восточные с учетом ландшафтной структуры или эдафических (почвенных) условий. Расстояние переброски, как и рекомендовано ММ. Вересиным [2] и "Лесосеменным районированием..." [5] с запада до реки Волга или 400 км, с востока - в два раза больше или на 750-800 км; с севера до 400-450 км, не выходя за пределы лесостепной зоны; с юга 300-350 км. Для Российской федерации

А. М. Шутяев [21] отмечает, что лесосеменное районирование дуба черешчатого основано на комплексе природных факторов, так как они являются основой формирования генотипической структуры популяций древесных растений и их групп. При районировании семян дуба рекомендуется учитывать климатический фактор, физико-географическое районирование, фенологические формы и ландшафтные особенности.

Для России предлагается А.М. Шутяевым лесосеменное районирование дуба черешчатого с выделением 22 лесосеменных районов. Для каждого района дана климатическая, популяционно-лесоводственная характеристика, где отмечено, какая фенологическая форма преобладает в районе, преобладающие типы леса, средний класс бонитета, периодичность плодоношения, наличие других форм дуба. Переброску желудей осуществляют внутри лесосеменного района, допуская до середины соседнего района с учётом типов леса и фенологических форм.

Согласно лесосеменного районирования от 2022 г для сосны обыкновенной выделено 25 районов, для ели 13, для лиственницы 16, для сосны кедровой 9, для дуба черешчатого 8 лесосеменных районов [6].

Групповой и индивидуальный отбор сосны обыкновенной в ЦЧР проведен селекционерами под руководством Ю.П. Ефимова [7], дуба черешчатого - В.А. Кострикиным и В.К. Ширининым [8], тополя белого и сереющего А.И. Сиволаповым [14], ольхи черной Т.А. Благодаровой [16].

Созданный в 1970 г в Воронеже первый в стране Центральный научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции (теперь ВНИИЛГИИСбиотех) работал в начале на объектах заложенных под руководством М.М. Вересина (научно-производственные опытные культуры сосны, лиственницы, ели, сосны кедровой, дуба, березы, тополя, ореха грецкого). А теперь сотрудники института в Европейской части РФ создали целую серию опытных объектов: географические и популяционно-экологические культуры заложены в 19 пунктах, испытательные культуры потомств плюсовых деревьев, отдельных биотипов и популяций, объктов ПЛСБ в 33 пунктах; архивы клонов, маточные плантации в 13 пунктах; лесосеменные плантации, ПЛСУ в 18 пунктах; сортоиспытательные участки в 5 пунктах; опытные дендрарии в 2 пунктах; плантационные и коллекционные культуры в 8 пунктах; стационарные участки лесного радиационного мониторинга в 17 пунктах. Опытные объекты созданы в Воронежской, Белгородской, Липецкой, Тамбовской, Тульской, Ростовской, Кировской, Новгородской, Пензенской областях, Краснодарском крае, республике Удмуртия [7, 8]. Отдельно надо отметить крупнейший в бывшем СССР популетум, заложенный в Семилукском лесопитомнике А.П. Царевым и рядом с ним тремулетум, созданный В.П. Петрухновым [19].

Отбор по экотипам и отбор лучших популяций, т.е. отбор массовый, однако, не является достаточным при селекции на быстроту роста и качество древесины. В пределах отдельных популяций, отдельных древостоев сосны можно выделить наиболее ценные формы или наиболее ценные биотипы деревьев с точки зрения энергии роста и качества ствола и древесины [16].

С 50 -ых годов прошлого столетия М.М. Вересиным отрабатываются технологии гибридизации тополей на срезанных ветвях и растущих деревьях. Им получены гибриды тополь белый × осина, эти гибриды произрастают на улицах и парках города Воронежа, на Коминтерновском кладбище. Выведенный им быстрорастущий триплоидный исполинский сорт тополя Э.с.-38 широко разводится в СНГ и принят для международного сортоиспытания. Спустя 70 лет, А.П. Царев его зарегистрировал, как сорт. Ученик и последователь М.М. Вересина, А.П. Царев около полувека получает гибриды тополей, им разработаны основы сортоведения тополя, зарегистрированы и внедрены сорта тополя: «Болид», «Ведуга», «Степная лада», «Белар»; Р.П. Царевой и В.А. Царевым зарегисрированы сорта тополя «Бриз», «Сюрприз» [19].

В 80-е годы прошлого столетия в ЦНИИЛГиС на древесных растениях с помощью химических мутагенов получили индуцированные мутанты тополя бальзамического и сосны обыкновенной. У тополя выделены пирамидальная, быстрорастущая, кустовидная, плакучая, карликовая формы; у сосны – трёхвойная форма [16]. В этот период интенсивно развиваются мутагенез и полиплоидия. Автором статьи впервые в России (пойма Хопра и Дона) обнаружены спонтанные аллотриплоиды тополя сереющего [12]. А.К. Буториной впервые в мире изучены триплоиды дуба черешчатого: один из которых обнаружен В.В. Иевлевым в Воронежском природном заповеднике, другой обнаружен Т.И. Плетминцевой в Шиповом лесу [21, 23]. Тополь сереющий, отобранный в пойме Хопра зарегистрирован как сорт Хоперский 1, исполинская форма тополя сереющего, отобранная в пойме Дона зарегистрирован как тополь сереющий Приярский. Триплоидные формы дуба и тополя отличаются высокой продуктивностью и качеством стволовой древесины и размножать их возможно только вегетативным путем. Экспериментальные культуры тополя сереющего Хоперский 1 созданы регенерантами in vitro находятся в Учебно-опытном лесхозе ВГЛТУ [13]. Паспортизация ценных биотипов тополя выполнена с использованием ДНК-анализа [15].

Опытные насаждения - живые памятники ученых-селекционеров, служат теперь местом учебной практики студентов, экскурсий и семинаров. На этих объектах работают аспиранты. Созданные объекты в лесу наглядно показывают на практике все направления и методы селекции и семеноводства древесных растений [9].

Таким образом, воронежские ученые лесоводы-селекционеры применяя все направления и методы лесной селекции и селекционного семеноводства, включая гибридизацию, мутагенез, полиплоидию, биотехнологию in vitro, решают вопросы повышения продуктивности и качества лесных культур.

Список литературы

1. Вавилов Н.И. Ботанико-географические основы селекции. М.–Л.: Сельхозгиз, 1935. – 60 с.

2.Вересин М.М., Ефимов Ю.П., Арефьев Ю.Ф. Справочник по лесному селекционному семеноводству. – М.: Агропромиздат, 1985. – 245 с.

3. Видякин А.И. Влияние географического происхождения семян на рост сосны обыкновенной в таежной зоне Кировской области / А.И. Видякин // Всесоюзн. совещ. по лесной генетике, селекции и семеноводству (1-4 ноября 1983 г. Петрозаводск): Тез. докл. - Петрозаводск, 1983. - С. 118 - 120.

4. Кобранов Н.П. Селекция дуба. М., 1925. – 41 с.

5. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР /Госкомитет СССР по лесному хозяйству. – М.: Изд-во «Лесн. пром-сть», 1982. – С. 368.

6. Об установлении лесосеменного районирования. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 19 декабря 2022 г. №1032. – 32 с.

7. Опытно-производственные селекционно-семеноводческие объекты НИИЛГиС: Сборник научных трудов. Т.1. – Воронеж: НИИЛГиС, 2004. – 196 с.

8. Опытно-производственные селекционно-семеноводческие объекты НИИЛГиС: Сборник научных трудов. Т.2. – Воронеж: НИИЛГиС, 2004. – 196 с.

9. Патент на селекционное достижение № 1187 Р. Ф. Тополь (*Populus* L.) Хоперский 1 / А.И. Сиволапов; заявитель и патентообладатель ВГЛТУ. - № 9908269; заявл. 06.12.2000 г.; зарегистрировано в государственном реестре охраняемых селекционных достижений 17.12.2001 г.

10. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л.Ф. Правдин - М.: Наука, 1964. - 190 с.

11. Правдин Л.Ф. Рост сосны обыкновенной (Pinus silvestris L.) разного географического происхождения в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Л.Ф. Правдин, А.Д. Вакуров // Сложные боры хвойно-широколиственных лесов и пути ведения лесного хозяйства в лесопарковых условиях Подмосковья. - М., 1968. - С. 160 - 195.

12. Сиволапов А.И. Тополь сереющий: генетика, селекция, размножение: монография; ВГЛТА. – Воронеж: ВГУ, 2005. – 157 с.

13. Сиволапов В.А., Благодарова Т.А., Сиволапов А.И. Экспериментальные культуры тополя, березы и ольхи, созданные регенерантами in vitro / В.А. Сиволапов, //Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции. 24-26 мая 2023 г. – СПб, 2023. – С. 352-354.

14. Sivolapov A., Blagodarova T., Sivolapov V. Forty-five-year monitoring of selection stands of white poplar (*Populus alba* L.), gray (*Populus canescens* Sm.), black poplar (*Populus nigra* L.) and willow (*Salix alba* L.) Khoperska state nature reserve // FORESTRY 2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 226 (2019) 11001 pp. 1 – 9.

15. Сиволапов А.И., Политов Д.В., Машкина О.С., Белоконь М.М., Сиволапов В.А., Белоконь Ю.С., Табацкая Т.М. Цитологические, молекулярные и лесоводственно-селекционные исследования коллекции полиплоидных тополей // Сибирский лесной журнал. – 2014. - № 4. – С. 50-58

16. Сиволапов, А.И. Селекция и семеноводство древесных растений: учебное пособие / А.И. Сиволапов. – Воронеж: ВГЛТА, 2011. – 204 с.

17. Сукачев В.Н. Основные установки селекции лесных древесных пород в условиях советского лесного хозяйства. // Советская ботаника, 1933, №1, с. 23 – 34.

18. Сухов И.В. История и опыт создания лесных культур в Учебно-опытном лесхозе Воронежской государственной академии: монография, ГОУ ВПО. Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, Кварта, 2007. – 143 с.

19. Царев А.П., Царева Р.П., Царев В.А., Евлаков П.М. Гибридизация тополей: монография /под общ. ред. А.П. Царева; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2021. 289 с.

20. Чернодубов А.И., Галдина Т.Е., Смогунова О.А. Географические культуры сосны обыкновенной на юге Русской равнины: монография – Воронеж: ВГЛТУ, 2005. – 128 с.

21. Шутяев А.М. Бторазнообразие дуба черешчатого и его использование в селекции и лесоразведении. – Воронеж: Изд-во «Истоки», 2000. – 336 с.

22. Щепотьев Ф.Л. Пути и методы лесной генетики и селекции //Лесоведение, 1967, №4, с. 3 – 14.

23. Яблоков А.С. Селекция древесных пород. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 488 с.

References

1. Vavilov N.I. Botanical and Geographical Foundations of Breeding. Moscow-Leningrad: Selkhozgiz, 1935. – 60 p.

2. Veresin M.M., Efimov Yu.P., Arefyev Yu.F. Handbook on Forest Breeding and Seed Production. Moscow: Agropromizdat, 1985. – 245 p.

3. Vidyakin A.I. The influence of the geographical origin of seeds on the growth of Scots pine in the taiga zone of the Kirov region / A.I. Vidyakin // All-Union. the meeting. on forest genetics, breeding and seed production (November 1-4, 1983 Petrozavodsk): Tez. dokl. - Petrozavodsk, 1983. - pp. 118-1120.

4. Kobranov N.P. Selection of the Oak. M., 1925. – 41 p.

5. Lesosemennoe zoning of the main forest-forming species in the USSR / USSR State Committee for Forestry. – M.: Lesn. prom-st, 1982. – P. 368.

6. On the establishment of the Lesosemennoe zoning. Order of the Federal Forestry Agency dated December 19, 2022, No. 1032. – 32 p.

7. Experimental and Production Breeding and Seed Production Facilities of the Research Institute of Genetics and Breeding: Collection of Scientific Papers. Vol. 1. – Voronezh: Research Institute of Genetics and Breeding, 2004. – 196 p.

8. Experimental and Production Breeding and Seed Production Facilities of the Research Institute of Genetics and Breeding: Collection of Scientific Papers. Vol. 2. Voronezh: Research Institute of Genetics and Breeding, 2004. 196 p.

9. Patent for Breeding Achievement No. 1187 R. F. Populus (Populus L.) Khopersky 1 / A.I. Sivolapov; applicant and patent holder of the Voronezh State University of Forestry and Technologies. - No. 9908269; application dated 06.12.2000; registered in the State Register of Protected breeding achievements on 17.12.2001.

10. Pravdin L.F. The common pine. Variability, intraspecific taxonomy and breeding / L.F. Pravdin - M.: Nauka, 1964. 190 p.

11. Pravdin, L.F. Growth of Scots Pine (Pinus silvestris L.) of Different Geographical Origin in the Subzone of Coniferous-Broad-Leaved Forests / L.F. Pravdin, A.D. Vakurov // Complex Forests of Coniferous-Broad-Leaved Forests and Ways of Forestry in the Forest-Park Conditions of the Moscow Region. - Moscow, 1968. - Pp. 160-195.

12. Sivolapov A.I. Populus tremula: genetics, selection, propagation: monograph; VGLTA. – Voronezh: VSU, 2005. – 157 p.

13. Sivolapov V.A., Blagodarova T.A., Sivolapov A.I. Experimental cultures of poplar, birch, and alder created by in vitro regenerants / V.A. Sivolapov, // Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education. Materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference. May 24-26, 2023 – St. Petersburg, 2023. – pp. 352-354.

14. Sivolapov A., Blagodarova T., Sivolapov V. Forty-five-year monitoring of selection stands of white poplar (Populus alba L.), gray (Populus canescens Sm.), black poplar (Populus nigra L.) and willow (Salix alba L.) Khopersk state nature reserve // FORESTRY 2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 226 (2019) 11001 pp. 1 – 9.

15. Sivolapov A.I., Politov D.V., Mashkina O.S., Belokon M.M., Sivolapov V.A., Belokon Yu.S., Tabatskaya T.M. Cytological, molecular and forestry-breeding studies of the collection of polyploid poplars // Siberian Forest Journal. – 2014. - № 4. – pp. 50-58

16. Sivolapov, A.I. Breeding and seed production of woody plants : textbook / A.I. Sivolapov. – Voronezh: VGLTA, 2011. – 204 p.

17. Sukachev V.N. The main principles of selection of forest tree species in the conditions of Soviet forestry. // Soviet Botany, 1933, No. 1, pp. 23-34.

18. Sukhov I.V. History and experience of creating forest cultures in the Educational and Experimental Forestry of the Voronezh State Academy: monograph, GOU VPO. Voronezh State Forestry Academy. acad. – Voronezh, Kvarta, 2007. – 143 p.

19. Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A., Yevlakov P.M. Hybridization of Poplars: Monograph / Edited by A.P. Tsarev; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Voronezh State Forestry University. – Voronezh, 2021. 289 p.

20. Chernodubov A.I., Galdina T.E., Smogunova O.A. Geographical Cultures of Scots Pine in the South of the Russian Plain: Monograph – Voronezh: VGLTU, 2005. – 128 p.

21. Shutyayev A.M. Biodiversity of the Sweet Cherry Oak and Its Use in Breeding and Afforestation. – Voronezh: Istoriki Publishing House, 2000. – 336 p.

22. Shchepotiev F.L. Ways and Methods of Forest Genetics and Breeding //Lesovedenie, 1967, No. 4, pp. 3-14.

23. Yablokov A.S. Selection of Tree Species. Moscow: Selkhozizdat, 1962. 488 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_152-157
УДК 630 231:712.2

КУЛЬТУРНЫЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ГОРОДСКИХ ЛЕСОВ: ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И БЛАГОПОЛУЧИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Е.А. Старухина, Н.В. Яковенко, М.Г.Варгузина
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация.
В условиях ускоренной урбанизации городские леса приобретают особое значение как источник экосистемных услуг. Среди них культурные услуги играют ключевую роль, так как они напрямую связаны с качеством жизни, здоровьем и социальным благополучием населения. В статье рассматриваются основные виды культурных экосистемных услуг городских лесов, включая рекреационные, эстетические, образовательные и социальные. Показано их влияние на психическое, физическое и социальное здоровье жителей. Особое внимание уделено проблемам реализации культурных услуг: высокой рекреационной нагрузке, неравномерности распределения зелёных зон, недостатку инфраструктуры и конфликтам интересов с застройкой. Рассмотрены перспективы развития, включающие создание экологических троп, интеграцию культурных услуг в городское планирование, использование цифровых технологий и вовлечение населения в управление природными территориями. Сделан вывод, что культурные экосистемные услуги являются важнейшим фактором устойчивого развития городов, обеспечивая гармонию между человеком и природой и способствуя повышению качества жизни населения.
Ключевые слова: экосистемные услуги, городские леса, культурные услуги, рекреация, здоровье населения, урбанизация, устойчивое развитие.

CULTURAL ECOSYSTEM SERVICES OF URBAN FORESTS: SIGNIFICANCE FOR HEALTH AND WELL-BEING OF THE POPULATION

E.A. Starukhina, N.V. Yakovenko, M.G. Varguzina

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.
In the context of rapid urbanization, urban forests acquire particular importance as providers of ecosystem services. Among them, cultural services play a crucial role since they are directly related to the quality of life, health, and social well-being of the population. The article examines the main types of cultural ecosystem services of urban forests, including recreational, aesthetic, educational, and social services. Their impact on the mental, physical, and social health of urban residents is highlighted. Special attention is given to the challenges of cultural service provision, such as high recreational load, uneven distribution of green spaces, lack of infrastructure, and conflicts with urban development. The prospects for development are considered, including the creation of ecological trails, integration of cultural services into urban planning, the use of digital technologies, and public involvement in the management of natural areas. It is concluded that cultural ecosystem services are a key factor in the sustainable development of cities, ensuring harmony between humans and nature and contributing to improving the quality of life.

© Старухина Е. А., Яковенко Н. В., Варгузина М. Г., 2025

Keywords: ecosystem services, urban forests, cultural services, recreation, public health, urbanization, sustainable development.

Введение

В условиях стремительной урбанизации и роста численности городского населения проблема сохранения и развития зелёных территорий приобретает особую актуальность. Современные города характеризуются высоким уровнем техногенной нагрузки, что негативно отражается на здоровье и благополучии жителей. На этом фоне особую роль начинают играть городские леса, выполняющие широкий спектр экосистемных услуг. Среди них культурные услуги занимают особое место, так как они непосредственно связаны с качеством жизни, психическим и физическим здоровьем населения.

Несмотря на то, что культурные экосистемные услуги не имеют материального выражения, их значение для общества трудно переоценить. Леса в городской среде обеспечивают возможности для отдыха, рекреации, формирования эстетической и духовной среды, образовательных и научных практик, а также укрепления социальных связей. Однако потенциал этих услуг часто недооценивается, что приводит к их недостаточной интеграции в городское планирование.

Цель статьи – рассмотреть культурные экосистемные услуги городских лесов и их значение для здоровья и благополучия населения.

Задачи исследования:

Дать определение культурных экосистемных услуг.

Рассмотреть основные виды культурных услуг городских лесов.

Проанализировать их влияние на здоровье и качество жизни населения.

Определить проблемы и перспективы использования культурных услуг в условиях урбанизации.

Теоретические основы

Концепция экосистемных услуг была разработана в рамках международных исследований, прежде всего «Миллениумской экосистемной оценки» (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), и в дальнейшем получила развитие в деятельности Межправительственной платформы по биоразнообразию и экосистемным услугам (IPBES). Согласно этим подходам, экосистемные услуги — это выгоды, которые люди получают от функционирования природных систем.

Все экосистемные услуги делятся на четыре основные группы:
обеспечивающие (ресурсы: древесина, вода, пища), регулирующие (очистка воздуха, поглощение углекислого газа, регулирование климата), поддерживающие (формирование почв, круговорот веществ, опыление), культурные (рекреация, эстетика, образование, духовные ценности).

Культурные услуги отличаются тем, что они нематериальны и проявляются через восприятие и деятельность человека. Их невозможно измерить только количественно, но именно они формируют социальную ценность городской природы. В условиях дефицита зелёных зон в городах именно культурные услуги становятся важным фактором, влияющим на психологическое состояние, уровень стресса и общее благополучие населения.

Виды культурных экосистемных услуг городских лесов

Одним из важнейших проявлений культурных экосистемных услуг является рекреационная функция городских лесов. Лесные массивы предоставляют жителям возможность для отдыха, прогулок, занятий спортом, туризма и оздоровления. Регулярное пребывание в лесной среде способствует снижению уровня стресса, нормализации артериального давления и улучшению работы нервной системы. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), люди, регулярно посещающие зелёные зоны, имеют на 20–30 % меньший риск развития депрессии и тревожных расстройств. Кроме того, городские леса становятся местом активного отдыха, что способствует формированию здорового образа

жизни. Велосипедные и пешеходные маршруты, зоны для занятий спортом на свежем воздухе формируют новые модели поведения горожан, направленные на повышение физической активности.

Городские леса играют важную роль в формировании эстетической привлекательности городской среды. Визуальное восприятие зелёных массивов снижает уровень психологической усталости и способствует восстановлению когнитивных функций.

Культурные экосистемные услуги городских лесов: многоаспектное влияние

Современные исследования подтверждают значительное влияние природной среды на когнитивные функции человека. Контакт с лесными ландшафтами демонстрирует положительную динамику в показателях креативного мышления и производительности труда. Помимо эстетического восприятия, лесные массивы обладают глубоким духовным потенциалом, выступая в различных культурных и религиозных традициях как символ связи человека с природой, источник вдохновения и внутренней гармонии. В урбанизированном пространстве леса выполняют функцию площадки для организации культурных событий, экологических инициатив и сохранения народных традиций.

Образовательный и научный потенциал

Городские лесные территории представляют ценность как природные учебные лаборатории, используемые для проведения образовательных программ, экскурсий и практических занятий экологической направленности. Данные объекты способствуют формированию экологического сознания и ценностного отношения к природе у молодого поколения. Научный потенциал urban forests реализуется через организацию долгосрочного мониторинга состояния экосистем, изучение их динамики и разработку природоохранных стратегий. Перспективным направлением представляется развитие подходов гражданской науки (citizen science), предусматривающих активное участие населения в сборе научных данных.

Социально-интегрирующая функция

Лесные массивы выполняют роль пространства социальной консолидации, способствуя формированию локальных сообществ, объединенных интересами в сфере экологии, волонтерской деятельности и рекреации. Совместное участие в природоохранных акциях, мероприятиях по благоустройству и культурных проектах укрепляет социальные связи и способствует формированию экологической идентичности горожан.

Таким образом, культурные экосистемные услуги urban forests проявляются в разнообразных формах, оказывая комплексное влияние на различные сферы жизни общества — от индивидуального благополучия до укрепления социального капитала.

Влияние на здоровье и качество жизни населения

Пребывание в городских лесах оказывает выраженное реставоративное воздействие на психическое состояние человека. Визусальный контакт с зелеными насаждениями способствует снижению тревожности, психоэмоциональному восстановлению и стрессоустойчивости. Согласно международным исследованиям, регулярное посещение лесных территорий снижает риски развития депрессивных состояний на 20-30%. Отмечается также положительная динамика в развитии когнитивных функций и концентрации внимания у детей и подростков.

Физиологический аспект

Городские леса создают условия для повышения уровня физической активности населения. Рекреационные виды деятельности (пешие прогулки, велосипедный спорт, фитнес) способствуют укреплению кардиореспираторной системы, нормализации метаболических процессов и профилактике ожирения. Важным аспектом является улучшение функции дыхательной системы благодаря естественной фильтрации воздуха: древесные насаждения задерживают взвешенные частицы, продуцируют фитонциды и снижают концентрацию поллютантов.

Социальное благополучие

Лесные территории предоставляют возможности для коммуникации, совместного досуга и культурных практик, способствуя укреплению социального капитала и повышению уровня доверия в сообществе. Организация массовых мероприятий экологической и культурной направленности формирует чувство общности и территориальной идентичности.

В европейских мегаполисах (Берлин, Варшава, Хельсинки) зафиксирована корреляция между доступностью лесопарковых зон и повышением индекса качества жизни населения, а также снижением обращаемости за медицинской помощью по поводу хронических заболеваний. В Российской Федерации успешной практикой является программа развития природных территорий Москвы, где комплексное благоустройство городских лесов способствовало повышению рекреационной привлекательности и росту посещаемости в 2-3 раза, демонстрируя эффективность интеграционного подхода к управлению городскими лесами.

Проблемы и ограничения использования культурных экосистемных услуг городских лесов

Интенсивное использование городских лесов для отдыха и туризма приводит к деградации экосистем. Утоптанные почвы, повреждённые корни деревьев, вырубка под кострoвища, засорение бытовыми отходами — всё это снижает экологическую ценность лесных массивов. В условиях больших городов нагрузка часто превышает естественные возможности восстановления.

Во многих городских лесах отсутствуют обустроенные прогулочные тропы, велодорожки, информационные щиты, зоны отдыха. Это делает территории менее доступными и ограничивает их использование. В то же время избыточная инфраструктуризация может повредить природным комплексам, поэтому необходим баланс между сохранением природы и созданием удобств для населения.

Зелёные территории в городах распределены неравномерно. Жители центральных или «привилегированных» районов зачастую имеют доступ к паркам и лесам, тогда как окраинные и промышленные зоны страдают от «зелёного дефицита». Это приводит к социальному неравенству в доступе к культурным экосистемным услугам.

Часто возникает противоречие между экономическими интересами застройщиков и необходимостью сохранения городских лесов. В результате ценные природные территории подвергаются вырубке или частичной застройке, что снижает их рекреационный и культурный потенциал. Недостаточная правовая защита таких объектов усугубляет ситуацию.

Культурные экосистемные услуги сложно количественно измерить, поэтому их значимость в городском планировании часто недооценивается. В отличие от регулирующих или обеспечивающих услуг, они не имеют прямой экономической стоимости, что снижает их приоритет при принятии управленческих решений.

Перспективы и рекомендации

Создание экологических троп, велодорожек, мест для активного отдыха позволяет повысить доступность городских лесов для населения. При этом важно использовать щадящие технологии благоустройства, минимизирующие вред для природных экосистем.

Культурные экосистемные услуги должны учитываться при разработке генеральных планов и программ устойчивого развития городов. Оценка рекреационного потенциала лесов и его включение в систему экологических нормативов позволит повысить их охранный статус.

Активное участие горожан в сохранении и развитии городских лесов — один из ключевых факторов. Проведение опросов, волонтёрских программ, совместных акций по озеленению и уборке территорий формирует у населения чувство ответственности за природное наследие.

Применение геоинформационных систем (ГИС), мобильных приложений и дистанционного зондирования Земли помогает оценивать рекреационную нагрузку, отслеживать посещаемость и выявлять зоны, нуждающиеся в охране. Такие технологии позволяют более эффективно управлять лесными территориями в условиях урбанизации.

В зарубежных городах (Копенгаген, Ванкувер, Хельсинки) активно развиваются программы по интеграции культурных услуг в стратегию «зелёных городов». Использование этого опыта в российских условиях позволит повысить эффективность управления городскими лесами.

Заключение

Культурные экосистемные услуги городских лесов являются важнейшим элементом устойчивого развития городов. Они формируют не только рекреационный и эстетический потенциал, но и напрямую влияют на физическое, психическое и социальное здоровье населения. В условиях роста урбанизации именно культурные услуги становятся «мостом» между человеком и природой, помогая сохранить гармонию городской среды. Несмотря на их высокую ценность, культурные экосистемные услуги часто остаются недооценёнными в системе городского планирования. Ограниченность методов оценки, неравномерное распределение зелёных зон и конфликт интересов с застройкой создают серьёзные вызовы. В то же время развитие инфраструктуры экологического туризма, использование цифровых технологий и вовлечение населения в управление природными территориями открывают новые перспективы. Интеграция культурных экосистемных услуг в стратегию городского развития позволит повысить качество жизни населения и укрепить экологическую устойчивость городов.

Таким образом, культурные экосистемные услуги городских лесов — это не второстепенный, а ключевой ресурс, от которого зависит здоровье, благополучие и будущее городского общества.

Список литературы

1. Экосистемные услуги России: Прототип национального отчёта. Т. 3: Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги крупнейших городов России / под ред. О. А. Климановой. – М.: Biodiversity Conservation Center, 2021. – 112 с.
2. Старухина, Е. А. Спрос и предложение экосистемных услуг городских лесов / Е. А. Старухина //Адаптация лесного хозяйства к изменению климата: природоориентированные решения и цифровизация. Forestry 2024: материалы Междунар. лесного форума, Воронеж, 31 окт. – 01 нояб. 2024 г. – Воронеж: ВГЛТУ, 2024. – С. 184-188. – DOI 10.58168/FFYS2024_184-188.
3. Fu, L. Evaluating Perceived Cultural Ecosystem Services in Urban Green Spaces Using Big Data and Machine Learning: Insights from Fragrance Hill Park in Beijing, China / L. Fu, H. Fu, C. Xiong // Sustainability. – 2025. – Vol. 17. – [Статья принята к публикации].
4. Hand, K. L. Ecosystem services delivery by large stature urban trees / K. L. Hand, K. J. Doick, J. L. Moss // Forest Research. Research Report. – 2019. – 24 p.
5. Dushkova, D. Cultural Ecosystem Services of Urban Green Spaces / D. Dushkova, M. Ignatieva [et al.] // Cultural Ecosystem Services of Urban Green Spaces. – Springer, 2021. – [Глава в монографии].
6. Wang, C. Differing perceptions on cultural ecosystem service values: Urban forest contribution to human well-being / C. Wang [et al.] // Ecological Indicators. – 2025. – [Статья принята к публикации].
7. Hand, K. L. Ecosystem services delivery by large stature urban trees: Focus on Cultural Services / K. L. Hand, K. J. Doick, J. L. Moss // Forest Research. Research Report. – 2019. – P. 1-24.

References

1. Klimanova, O. A. (Ed.). (2021). *Ecosystem services of Russia: Prototype national report. Vol. 3: Green infrastructure and ecosystem services of the largest cities in Russia*. Biodiversity Conservation Center.
2. Starukhina, E. A. (2024). *Spros i predlozheniye ekosistemnykh uslug gorodskikh lesov* [Demand and supply of urban forest ecosystem services]. In Adaptatsiya lesnogo khozyaystva k

izmeneniyu klimata: prirodooriyentirovannyye resheniya i tsifrovizatsiya. Forestry 2024: materialy Mezhdunarodnogo lesnogo foruma (pp. 184-188). https://doi.org/10.58168/FFYS2024_184-188

3. Fu, L., Fu, H., & Xiong, C. (2025). Evaluating Perceived Cultural Ecosystem Services in Urban Green Spaces Using Big Data and Machine Learning: Insights from Fragrance Hill Park in Beijing, China. *Sustainability, 17*. Advance online publication.

4. Hand, K. L., Doick, K. J., & Moss, J. L. (2019). *Ecosystem services delivery by large stature urban trees*. Forest Research. Research Report.

5. Dushkova, D., & Ignatieva, M. (2021). Cultural Ecosystem Services of Urban Green Spaces. In *Cultural Ecosystem Services of Urban Green Spaces*. Springer.

6. Wang, C. [et al.]. (2025). Differing perceptions on cultural ecosystem service values: Urban forest contribution to human well-being. *Ecological Indicators*. Advance online publication.

7. Hand, K. L., Doick, K. J., & Moss, J. L. (2019). Ecosystem services delivery by large stature urban trees: Focus on Cultural Services. *Forest Research. Research Report*, 10-15.

DOI: 10.58168/Forestry2025_158-165
УДК 630 232.5:57.085.23:582.475.2+582.475.4

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ ХВОЙНЫХ С ОДНОЛЕТНИМ И ДВУХЛЕТНИМ РЕПРОДУКТИВНЫМ ЦИКЛОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СОМАТИЧЕСКJОГО ЭМБРИОГЕНЕЗА В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

И.Н. Третьякова, д.б.н., профессор, главный научный сотрудник,
М.Э. Пак, научный сотрудник,
А.В. Лукина, младший научный сотрудник,
Н.С. Помыткин, аспирант,
М.А. Носкова, аспирант,

лаборатория лесной генетики и селекции,
Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН),
г. Красноярск, Россия

Аннотация

Проведено введение в культуру *in vitro* эксплантов *Larix sibirica* и *Pinus sibirica*. Выявлено, что технология получения эмбриогенной ткани и соматического эмбриогенеза у данных видов различается. У *Larix sibirica* эмбриогенным потенциалом обладают зиготические зародыши на предсемядольной и более поздних стадиях развития, при помещении их на среду АИ с добавлением регуляторов роста 2,4-Д и 6-БАП в концентрации 2:1 мг/л. При этом происходит образование эмбрионально-суспензорной массы, успешное созревание (среда АИ с добавлением АБК) и прорастание соматических зародышей, а также получение клонов деревьев. У *Pinus sibirica* образование эмбриогенной ткани происходило при использовании в качестве эксплантов мегагаметофитов с зародышами на кливажной и посткливажной стадии развития, которые помещались на среды DCR и ½LV. Совершенствование протоколов получения соматических зародышей, отбор генетически стабильных клеточных линий является перспективным направлением для создания высокопродуктивных, устойчивым к энтомовредителям лесных насаждений.

Ключевые слова: *Larix sibirica, Pinus sibirica,* соматический эмбриогенез, клоны.

REFORESTATION OF CONIFER WITH ONE- AND TWO-YEAR REPRODUCTIVE CYCLES USING INNOVATIVE SOMATIC EMBRYOGENESIS TECHNOLOGY IN IN VITRO CULTURE

I.N. Tretyakova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher,
M.E. Park, Researcher,
A.V. Lukina, Junior Researcher,
N.S. Pomytkin, Postgraduate Student,
M.A. Noskova, Postgraduate Student,

Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the RAS - Division of Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS», Krasnoyarsk,Russia

© Третьякова И. Н., Пак М. Е., Лукина А. В., Помыткин Н. С., Носкова М. А.,2025

Abstract. *Larix sibirica* and *Pinus sibirica* explants were introduced into i*n vitro* culture. It was found that the technology for obtaining embryogenic tissue and somatic embryogenesis differs between these species. In *Larix sibirica*, embryogenic potential is exhibited by zygotic embryos at the pre-cotyledonary and later developmental stages when placed on AI medium supplemented with growth regulators 2,4-D and 6-BAP at a concentration ratio of 2:1 mg/L. This leads to the formation of an embryonal-suspensor mass, successful maturation (on AI medium supplemented with ABA), germination of somatic embryos, and generation of clonal trees. In *Pinus sibirica*, embryogenic tissue was formed using megagametophytes containing embryos at the cleavage and post-cleavage stages, cultured on DCR and ½LV media. Improvement of protocols for somatic embryo production and selection of genetically stable cell lines is a promising direction for creating high-yielding forest plantations resistant to insect pests.

Keywords: *Larix sibirica, Pinus sibirica*, somatic embryogenesis, clones.

За последние годы произошло резкое снижение репродуктивного потенциала основных лесообразующих хвойных видов в Сибири. Для воспроизводства лесов, наряду с традиционными методами размножения, необходимо использовать и современные технологии. Наиболее перспективной из них является технология соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro*. Соматический эмбриогенез – способ бесполого размножения был применен для селекционно-генетического улучшения клонируемых деревьев (программа Multi-Varietal Forestry, MVF [7]). В настоящее время крупномасштабное производство ряда видов хвойных (*Pinus radiata, Pinus taeda, Picea abies*) реализуется в лабораториях мирового класса Maritime Innovation Limited в Сассексе, штат Северная Каролина (Канада) в сотрудничестве с Scientist Emeritus, Natural Resources Canada – Canadian Wood Fibre Centre, Frederiction, Sussex New Brunswick, Canada и другими.

Соматический эмбриогенез является ценной экспериментальной системой для изучения регуляторных механизмов, участвующих в развитии растений. Активно проводятся морфофизиологические и молекулярно-генетические исследования соматического эмбриогенеза и регенерации из эмбрионов растений [4,6–10]. Однако, имеются четыре технические проблемы, которые в настоящее время препятствуют масштабированию технологии соматического эмбриогенеза большинства видов хвойных:

(1) низкая частота возникновения и ограниченные источники эксплантов (генотипы деревьев);

(2) потеря эмбриогенного потенциала при длительном культивировании;

(3) низкий уровень созревания и высокая частота аномального развития эмбрионов;

(4) низкий уровень прорастания соматических зародышей.

В настоящей статье будут показаны особенности соматического эмбриогенеза у видов с однолетним (*Larix sibirica* Ledeb.) и двухлетним (*Pinus sibirica* Du Tour) репродуктивными циклами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов *Larix sibirica* были взяты деревья, произрастающие в Дендрарии Института Леса СО РАН (Красноярск) и в естественном древостое Республики Хакасия (вблизи ОЭП «Черное озеро» ИЛ СО РАН). Возраст деревьев составлял 50–70 лет. Из 200 деревьев лиственницы, экспланты (зиготические зародыши) только четыре дерева–донора формировали эмбриогенные культуры. Эти деревья-доноры устойчивы к лиственничной почковой галлице.

У *Pinus sibirica* объектами исследования служили деревья, произрастающие в естественном древостое Западного Саяна и в насаждениях на территории Караульного участкового лесничества СибГУ им. М. Ф. Решетнева (г. Красноярск). Возраст исследованных деревьев – 50–150 лет.

Введение в культуру in vitro

У *Larix sibirica* в качестве эксплантов служили зиготические зародыши на стадии инициации заложения семядолей. Зародыши вводили на агаризированную базовую среду АИ [14]. Уровень регуляторов роста составил: 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) – 2 мг/л (Sigma-Aldrich, США) и 6-бензоаминопурина (6-БАП) – 0,5–1 мг/л (Sigma-Aldrich, США).

Пролиферацию, полученной эмбриональной-суспензорной массы (ЭСМ), проводили на среде АИ, содержащей 2,4-Д (2 мг/л) или НУК (2 мг/л), 6-БАП (0,5–1 мг/л) и сахарозу (20 г/л).

Для созревания соматических зародышей кусочки ЭСМ помещали на среду АИ, содержащую сахарозу (40 г/л), абсцизовую кислоту (АБК) (32 мг/л), индолилмасляную кислоту (ИМК) (0.2 мг/л) и полиэтиленгликоль (ПЭГ 8000) (10%). В качестве желирующего агента использовали Gelrite (4 г/л). Прорастание соматических зародышей проводили на базовой среде АИ, свободной от регуляторов роста.

У *Pinus sibirica* материалом для исследования служили зиготические зародыши и мегагаметофиты. Для введения в культуру использовали питательную среду DCR [3] и ½ LV [8]. В качестве гормонов использовали 2,4-Д в концентрации 2 мг/л и 6БАП – 1 мл/л. Среды дополняли сахарозой (30г/л), глутамином (0,5 г/л), гидролизатом казеина (0,5 г/л), мезоинозитом (0,1 г/л) и аскорбиновой кислотой (300 мг/л). В качестве желирующего компонента использовали агар в концентрации 7 г/л. Перед автоклавированием pH среды доводили до 5,7. После автоклавирования через бактерицидный фильтр добавляли глутамин и аскорбиновую кислоту.

Культивирование осуществляли в темноте, при температуре 24 ± 1 ˚С. Регистрацию отклика на введение в условия культуры проводили еженедельно.

Цитологический анализ

Для цитологического анализа подготавливали временные препараты с использованием 0,1% раствора сафранина. При наличии изодиаметрических клеток полученную культуру относили к каллусу. Микроскопирование препаратов проводили на микроскопе «МИКРОМЕД-6» ЛОМО, при увеличении х40, х100 и х400. Измерения клеток и эмбриональных структур проводили при помощи системы Scope Photo, с последующим переводом полученных единиц в микрометры. Фотографии препаратов выполняли при помощи встроенной камеры DCM 510 и фотокамеры Olympus FE-370. При наличии в культуре эмбрионально-суспензорной массы (ЭСМ), клеточную линию считали эмбриогенной.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали при помощи пакета программ Microsoft Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСЛЕДОВАНИЯ

Larix sibirica

Инициация эмбриогенной культуры (ЭК) у *Larix sibirica* на среде АИ начинается с поляризации и удлинения соматических клеток, а также локализации ИУК на одном конце удлиненной клетки. Удлиненные клетки ассиметрично делятся с образованием маленькой эмбриональной клетки и удлиненной клетки – клетки трубки. Из эмбриональной клетки формируется глобула соматического зародыша. Из базальных клеток глобулы образуются клетки трубки – суспензор. Глобулярные зародыши всегда имели четкую поляризацию: глобула занимала апикальный конец, суспензор примыкал к базальной части глобулы [11]. Далее, формируется хорошо развитая эмбриогенная ткань – эмбрионально-суспензорная масса, состоящая из глобулярных зародышей и суспензоров. В глобулярных зародышах идет четкое распределение гормонов – ИУК, цитокинины и АБК локализуются в клетках глобулы и полностью отсутствуют в клетках эмбриональных трубок суспензора. Морфологическими маркерами эмбриогенных КЛ является молочный цвет и рыхлая структура (рис. 1а). Активная пролиферация ЭСМ начинается с трехмесячного возраста КЛ и сохраняется до 15 лет и более.

За годы исследования (2008–2024) была создана коллекция, состоящая из 54 пролиферирующих эмбриогенных клеточных линий (КЛ), полученных из эксплантов лиственницы сибирской в результате свободного и контролируемого опыления.

У большинства пролиферирующих КЛ образование глобулярных соматических зародышей активно идет в течение 1–3 лет (32 КЛ из 54 КЛ). Затем интенсивность пролиферации замедлялась и клеточные линии перерождались в обычные каллусные культуры или отмирали. В то же время ряд клеточных линий КЛ4, КЛ6, КЛ5 и КЛ12 активно пролиферировали в течение 15, 11, 9 и 5 лет соответственно. Мультипликация соматических зародышей шла через кливаж.

Пролиферирующие КЛ лиственницы характеризуются высоким горманальным балансом. Данные иммуноферментного анализа ЭСМ показали, что пролиферирующие КЛ содержат большое количество ИУК более низкое содержание цитокининов и АБК [12]. В длительно пролиферирующих КЛ (11–15 лет) повышается уровень ИУК и, особенно АБК, что, вероятно, приводит к снижению регенерационной способности культур.

Рисунок 1. Микроклональное размножение лиственницы сибирской: а – эмбриогенные культуры на стадии пролиферации, б – регенеранты, в – 12-ти летние клоны, произрастающие в условиях лесопитомника в экспериментальном хозяйстве “Погорельский бор” Института леса СО РАН

Молекулярно-генетические исследования показали, что молодые пролиферирующие КЛ генетически стабильны до 1 года и кариотип их состоял из диплоидного числа хромосом (2n=24). При длительном культивировании (более трех лет) у пролиферирующих КЛ было выявлено изменение числа хромосом (2n=25; 2n=26). Наиболее распространенным типом геномных нарушений в длительно пролиферирующих эмбриогенных культурах лиственницы сибирской является анеуплоидия, а именно трисомия по одной или нескольким парам хромосом. Однако у отдельных клеточных линий (КЛ 4 и КЛ 6) в течение 11 лет культивирования остаются генетически стабильными и содержат диплоидное число хромосом [13]. При этом КЛ характеризуется высокой эмбриональной продуктивностью ЭСМ и большим количеством созревших на среде с АБК соматических зародышей. Число зрелых зародышей колебалось от 9 на 1 г ЭСМ (КЛ16.19, самоопыление) до 1221, эмбрионов на 1 г ЭСМ (КЛ4), которые активно прорастали (рис. 1б). Из КЛ6 были получены клоны деревьев, которые в течение 12 лет активно растут в почве лесопитомника (рис. 1в). Клоны

характеризуются быстрым ростом. В возрасте 7 лет у них формировались генеративные органы. Генотипирование по девяти микросателлитным локусам из хвои клонированных деревьев лиственницы показало, что все были полностью идентичны КЛ6 из которой они были получены. Клоны, полученные от этой клеточной линии, оказались гомозиготами с одним аллелем, идентичным материнскому генотипу № А4 [15].

Pinus sibirica

Технология получения соматических зародышей у *Pinus sibirica* значительно отличается от *Larix sibiria,* а также других видов с однолетним генеративным циклом *Picea abies* [2], *Abies cephalonica* [5]. Во-первых, культивирование видов с однолетним циклом происходит на других средах. Так, *Pinus sibirica* нуждается в более бедных по составу микро- и макроэлементами средах – DCR и ½ LV. Во-вторых, у *Pinus sibirica* при введении в культуру *in vitro* зиготических зародышей на стадии инициации семядолей на среде DCR и LV происходило, как правило, формирование каллусных культур. Образование эмбриогенной ткани наблюдалось только при введении в культуру мегагаметофитов с зародышами на ранних стадиях развития. Максимальный уровень инициации (до 10,2%) был получен от эксплантов, собранных через две недели после оплодотворения, когда зиготические зародыши находились на посткливжной стадии развития. Инициация соматического эмбриогенеза начиналась через 2-4 недели, после введения эксплантов в условия *in vitro* и происходила путем экструзии – выдавливания клеточных масс из микропиллярного отверстия мегагаметофита. Полученные в результате экструзии клеточные линии представляли собой эмбрионально-суспензорную массу (рис. 2а,б,в). Продолжительность периода компетентности к образованию ЭСМ составляет 7–10 дней, в течение которых в эксплантах происходит дифференцировка лидирующего зародыша.

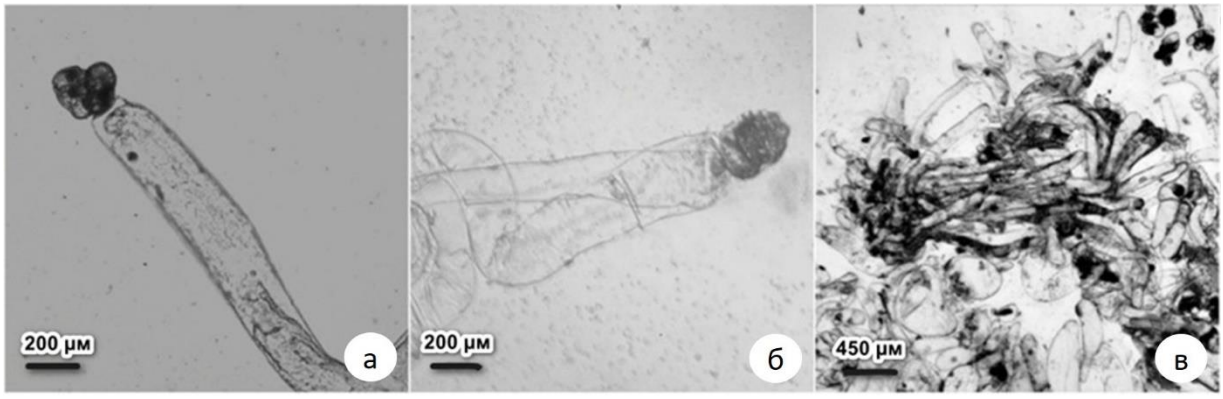


Рисунок 2. Инициация соматического эмбриогенеза у *P. sibirica.* Временные препараты: а, б – зародышеподобные структуры, состоящие из округлых клеток (глобул соматического зародыша) и вытянутых (суспензора); в – общий вид эмбрионально-суспензорной массы

Инициация соматического эмбриогенеза из мегагаметофитов с незрелыми зародышами ла описана у многих видов рода *Pinus* [1]. Ряд видов (*P. hanksiana, P. strobus, P. pinaster, P. sylvestris*) были отнесены к неподатливым «recalcitrance» к соматическому эмбриогенезу. У видов, относящихся к «recalcitrance» при введении в культуру *in vitro* мегагаметофитов с зародышами на стадии раннего эмбриогенеза удалось инициировать соматический эмбриогенез [7]. К таким непокорным видам относится и *Pinus sibirica*. Необходимо отметить особенности эмбриогенеза видов рода *Pinus*. Прежде всего, представители данного рода характеризуются двухлетним репродуктивным циклом и наличием кливажа в раннем эмбриогенезе. По-видимому, при введении в культуру у эксплантов на стадии кливажа *P. sibirica* сохраняется «кливажная память», происходит активное расщепление образовавшихся

соматических зародышей, и наблюдается экструзия эмбрионально-суспензорной массы через микропилярную часть мегагаметофита.

Заключение

Эмбриогенная компетентность эксплантов при вводе их в культуру *in vitro* у хвойных с однолетним и двухлетним репродуктивным циклом отличается. У *Larix sibirica* эмбриогенным потенциалом обладают зиготические зародыши на предсемядольной и более поздних стадиях развития. У *Pinus sibirica* образование эмбрионально-супензорной массы происходит из кливажных зародышей, находящихся в мегагаметофитах. Эмбриогенная компетентность ограничена очень небольшим промежутком времени (около 7 дней).

Таким образом, совершенствование протоколов получения соматических зародышей, отбор генетически стабильных клеточных линий лиственницы является перспективным направлением для создания высокопродуктивных, устойчивым к энтомовредителям лесных насаждений.

Работа выполнена в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0028. Регистрационный номер НИОКТР 124012900557-0.

Список литературы

1. Bonga, J.M., Klimaszewska, K.K., von Aderkas, P. Recalcitrance in clonal propagation, in particular of conifers // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2010. Vol. 100. P. 241–254.
2. Filonova, L.H., Bozhkov, P.V., von Arnold, S. Developmental pathway of somatic embryogenesis in *Picea abies* as revealed by time-lapse tracking // Journal of Experimental Botany. 2000. Vol. 51. P. 249–264.
3. Gupta, P.K., Durzan, D.J. Shoot multiplication from mature trees of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and sugar pine (*Pinus lambertiana*) // Plant Cell Reports. 1985. Vol. 4, № 4. P. 177–179.
4. Klimaszewska, K., Hargreaves, C., Lelu-Walter, M.A., Trontin, J.F. Advances in conifer somatic embryogenesis since year 2000 // In: *In Vitro* Embryogenesis in Higher Plants / Eds. M. Germana, M. Lambardi. New York: Springer, 2016. P. 131–161. (Methods in Molecular Biology; vol. 1359).
5. Krajňáková, J., Sutela, S., Aronen, T., Gömöry, D., Vianello, A., Häggman, H. Long-term cryopreservation of Greek fir embryogenic cell lines: recovery, maturation and genetic fidelity // Cryobiology. 2011. Vol. 63. P. 17–25.
6. Lelu-Walter, M.A., Pâques, L.E. Simplified and improved somatic embryogenesis of hybrid larches (*Larix* × *eurolepis* and *Larix* × *marschlinsii*): perspectives for breeding // Annals of Forest Science. 2009. Vol. 66. Article 104. DOI: 10.1051/forest/2008074.
7. Park, Y.S., Beaulieu, J., Bousquet, J. Multi-varietal forestry integrating genomic selection and somatic embryogenesis // In: Vegetative Propagation of Forest Trees / Eds. Y.S. Park, J.M. Bonga, H.K. Moon. Suwon: National Institute of Forest Science, 2016. P. 302–322.
8. Park, Y.S., Lelu-Walter, M.A., Harvengt, L., Trontin, J.F., Klimaszewska, K., Bonga, J.M. Initiation of somatic embryogenesis in *Pinus banksiana*, *P. strobus*, *P. pinaster* and *P. sylvestris* at three laboratories in Canada and France // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2006. Vol. 86. P. 87–101.
9. Peng, C., Gao, F., Wang, H., Shen, H., Yang, L. Physiological and biochemical traits in Korean pine somatic embryogenesis // Forests. 2020. Vol. 11. Article 577. DOI: 10.3390/f11050577.
10. Pullman, G.S. Embryogenic tissue initiation in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) // In: Jain, S.M., Gupta, P. (Eds.) Step Wise Protocols for Somatic Embryogenesis of Important Woody Plants. Vol. 1. Cham: Springer, 2018. P. 13–31.

11. Tretyakova, I.N., Park, M.E. Collectible cell lines of *Larix sibirica* obtained by somatic embryogenesis and their ability to regenerate // Forests. 2023. Vol. 14, № 9. Article 1920. DOI: 10.3390/f14091920.

12. Tretyakova, I. N., Shuklina, A. S., Park, M. E., Yang, L., Akhiyarova, G. R., Kudoyarova, G. R. The role of phytohormones in the induction of somatic embryogenesis in *Pinus sibirica* and *Larix sibirica* // Cytologia. 2021. Vol. 86. № 1. P. 55-60.

13. Пак, М.Э., Горячкина, О.В., Третьякова, И.Н., Муратова, Е.Н. Цитогенетическая характеристика разновозрастных эмбриогенных клеточных линий, полученных через соматический эмбриогенез у *Larix sibirica* Ledeb. // Сибирский экологический журнал. 2023. Т. 30. № 5. С. 715–723.

14. Третьякова, И. Н. Способ микроклонального размножения лиственницы сибирской в культуре *in vitro* через соматический эмбриогенез на среде АИ для плантационного лесовыращивания / Пат. РФ RU 2456344 C2. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 2012. URL: http://www.freepatent.ru/images/patents/5/2456344/patent-2456344.pdf

15. Третьякова, И.Н., Пак, М.Э., Орешкова, Н.В., Падутов, В.Е. Регенерационная способность клеточных линий лиственницы сибирской в культуре *in vitro* // Биология растения. 2022. Т. 49, № 6. С. 585–596.

References

1. Bonga, J.M., Klimaszewska, K.K., von Aderkas, P. Recalcitrance in clonal propagation, in particular of conifers // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2010. Vol. 100. P. 241–254.

2. Filonova, L.H., Bozhkov, P.V., von Arnold, S. Developmental pathway of somatic embryogenesis in *Picea abies* as revealed by time-lapse tracking // Journal of Experimental Botany. 2000. Vol. 51. P. 249–264.

3. Gupta, P.K., Durzan, D.J. Shoot multiplication from mature trees of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and sugar pine (*Pinus lambertiana*) // Plant Cell Reports. 1985. Vol. 4, № 4. P. 177–179.

4. Klimaszewska, K., Hargreaves, C., Lelu-Walter, M.A., Trontin, J.F. Advances in conifer somatic embryogenesis since year 2000 // In: *In Vitro* Embryogenesis in Higher Plants / Eds. M. Germana, M. Lambardi. New York: Springer, 2016. P. 131–161. (Methods in Molecular Biology; vol. 1359).

5. Krajňáková, J., Sutela, S., Aronen, T., Gömöry, D., Vianello, A., Häggman, H. Long-term cryopreservation of Greek fir embryogenic cell lines: recovery, maturation and genetic fidelity // Cryobiology. 2011. Vol. 63. P. 17–25.

6. Lelu-Walter, M.A., Pâques, L.E. Simplified and improved somatic embryogenesis of hybrid larches (*Larix* × *eurolepis* and *Larix* × *marschlinsii*): perspectives for breeding // Annals of Forest Science. 2009. Vol. 66. Article 104. DOI: 10.1051/forest/2008074.

7. Park, Y.S., Beaulieu, J., Bousquet, J. Multi-varietal forestry integrating genomic selection and somatic embryogenesis // In: Vegetative Propagation of Forest Trees / Eds. Y.S. Park, J.M. Bonga, H.K. Moon. Suwon: National Institute of Forest Science, 2016. P. 302–322.

8. Park, Y.S., Lelu-Walter, M.A., Harvengt, L., Trontin, J.F., Klimaszewska, K., Bonga, J.M. Initiation of somatic embryogenesis in *Pinus banksiana*, *P. strobus*, *P. pinaster* and *P. sylvestris* at three laboratories in Canada and France // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2006. Vol. 86. P. 87–101.

9. Peng, C., Gao, F., Wang, H., Shen, H., Yang, L. Physiological and biochemical traits in Korean pine somatic embryogenesis // Forests. 2020. Vol. 11. Article 577. DOI: 10.3390/f11050577.

10. Pullman, G.S. Embryogenic tissue initiation in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) // In: Jain, S.M., Gupta, P. (Eds.) Step Wise Protocols for Somatic Embryogenesis of Important Woody Plants. Vol. 1. Cham: Springer, 2018. P. 13–31.

11. Tretyakova, I.N., Park, M.E. Collectible cell lines of *Larix sibirica* obtained by somatic embryogenesis and their ability to regenerate // Forests. 2023. Vol. 14, № 9. Article 1920. DOI: 10.3390/f14091920.

12. Tretyakova, I. N., Shuklina, A. S., Park, M. E., Yang, L., Akhiyarova, G. R., Kudoyarova, G. R. The role of phytohormones in the induction of somatic embryogenesis in *Pinus sibirica* and *Larix sibirica* // Cytologia. 2021. Vol. 86. № 1. P. 55-60.

13. Park, M.E., Goryachkina, O. V., Tretyakova, I. N., Muratova, E. N. Cytogenetic characteristics of embryogenic cell lines of different ages obtained by somatic embryogenesis in *Larix sibirica* Ledeb // Contemporary Problems of Ecology. 2023. Vol. 16. №. 5. P. 665–671.

14. Tretyakova, I.N. Method of microclonal propagation of Siberian larch in *in vitro* culture via somatic embryogenesis for plantation growing: patent RU 2456344 C2. 2012. (In Russ.). URL: http://www.freepatent.ru/images/patents/5/2456344/patent-2456344.pdf

15. Tret'yakova, I.N., Park, M.E., Oreshkova, N.V., Padutov, V.E. The regenerative capacity of Siberian larch cell lines *in vitro* // Biology Bulletin. 2022. Vol. 49, № 6. P. 609–619. DOI: 10.1134/S1062359022050193

DOI: 10.58168/Forestry2025_166-172
УДК 630; 630 308

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ЗЕМЕЛЬ В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ ГАЗОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

О.Н. Тюкавина[1], А.А. Сентемов[2], Е.А. Сурина[3]

[1]д.с.-х.н., профессор кафедры биологии, экологии и биотехнологии, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, ведущий научный сотрудник, Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, г. Архангельск
[2]старший преподаватель кафедры бурения скважин, разработки нефтяных и газовых месторождений, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск
[3]к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, г. Архангельск, Россия

Аннотация. Цель. исследования являлась оценка зарастания лесных территорий, нарушенных прокладкой газовых трубопроводов. В результате вырубки технологического коридора и обустройства газового трубопровода происходит неравномерное заселение территории растительностью. Сохраняется от 35 до 69 % лесных видов. Задернение нарушенной территории зависит от активности заселения ее лиственными древесными породами. Количество хвойного подроста на технологическом коридоре может изменяться от 2,5 до 14,5 тыс. шт./га. Наиболее благоприятные условия для лесовозобновления складываются с северной стороны технологического коридора вблизи стены леса и на ее опушке. При увеличении ширины технологического коридора возобновительный потенциал хвойных пород снижается.

Ключевые слова: напочвенный покров, подрост хвойных пород, подрост лиственных пород, технологические коридоры, газовые трубопроводы

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF FOREST LANDS IN THE AREA OF GAS PIPELINE LAYING

O.N. Tyukavina[1], A.A. Sentemov[2], E.A. Surina[3]

[1]Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Biology, Ecology and Biotechnology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk
[2] Senior Lecturer at the Department of Well Drilling, Oil and Gas Field Development, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
[3]Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk, Russia

Abstract. The purpose of the study was to assess the overgrowth of forest areas disrupted by the laying of gas pipelines. As a result of the cutting down of the technological corridor and the construction of the gas pipeline, the territory is being unevenly populated with vegetation. From 35 to 69% of forest species are preserved. The blackening of the disturbed territory depends on the activity of its settlement with deciduous tree species. The amount of coniferous undergrowth in the technological corridor can vary from 2.5 to 14.5 thousand units/ha. The most favorable conditions for reforestation are formed on the northern side of the technological corridor near the forest wall and at

© Тюкавина О. Н., Сентемов А. А., Сурина Е. А., 2025

its edge. As the width of the technological corridor increases, the renewable potential of conifers decreases.

Keywords: ground cover, coniferous undergrowth, hardwood undergrowth, technological corridors, gas pipelines

Нефтегазовая промышленность и лесозаготовительная деятельность одни из основных факторов, влияющих на лесные территории [3, 4]. К воздействию нефтегазовой промышленности на окружающую среду относится в частности отчуждение территории, вырубка леса, трансформация лесных площадей, повреждение растительности и изменение характера землепользования [1, 2].

Примерная протяжённость магистральных газопроводов на территории Архангельской области составляет около 550 км. Учитывая территорию занятую крановыми узлами, газораспределительными станциями, подъездными путями, отчуждается лесной территории до 12,86 км^2. Перед началом прокладки газопроводов проводится расчистка трассы от древесной растительности. Причем на сухих почвах проводиться корчевка почв по всей ширине коридора, на переувлажненных почвах – только на полосе будущей траншем трубопроводов и кабеля. На остальной части коридора деревья спиливаются на уровне земли. Ширина трассы зависит от количества ниток трубопроводов [4]. Изучение успешности лесовозобновления, интенсивности зарастания луговой растительностью, закустаривание на данных участках в приарктической зоне позволяет оценить потенциал демутационной сукцессии и возможности применения данных результатов для разработки хозяйственных мероприятий по обновлению приспевающих, спелых и перестойных лесов.

Цель исследования – оценка зарастания лесных территорий, нарушенных прокладкой газовых трубопроводов.

Исследования проведены в Архангельском лесничестве. Объекты исследования – сосняки брусничные, ельники черничные (табл. 1). Ширина технологического коридора в сосняках брусничных составляет 26 м с полной расчисткой территории, в ельниках черничных 56 и 75 м - расчистка проведена полосами в области будущей траншеи; порубочные остатки уложены в валы, заросшие древесно-кустарниковой растительностью. Технологические коридоры проложены в направлении восток-запад. Газопровод прокладывали в 2007 г.

Таблица 1. Таксационная характеристика лесных насаждений разделенных технологическим коридором

Расположение относительно коридора	Ширина коридора, м	Тип леса	Состав древостоя	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Класс возраста	Относительная полнота
Юг	26	С. бр.	7С1Е2Б+Ос	16,8	16,6	V	0,61
Север		С. бр.	8С1Е1Б+Ос	17,0	16,6	V	0,77
Юг	56	Е. черн.	1С4Е4Б1Ос	17,6	17,0	V	1,1
Север		Е. черн.	7Е2Б1Ос+С	20,0	20,6	V	1,2
Юг	75	Е. черн.	1С6Е3Б+Ос	19,6	19,3	V	0,72
Север		Е. черн.	1С7Е1Б1Ос	19,0	18,9	V	0,83

С.бр. – сосняк брусничный; Е. черн. – ельник черничный

Схема размещения объектов обустройства лесных территорий газовых трубопроводов приведена на рисунке 1.

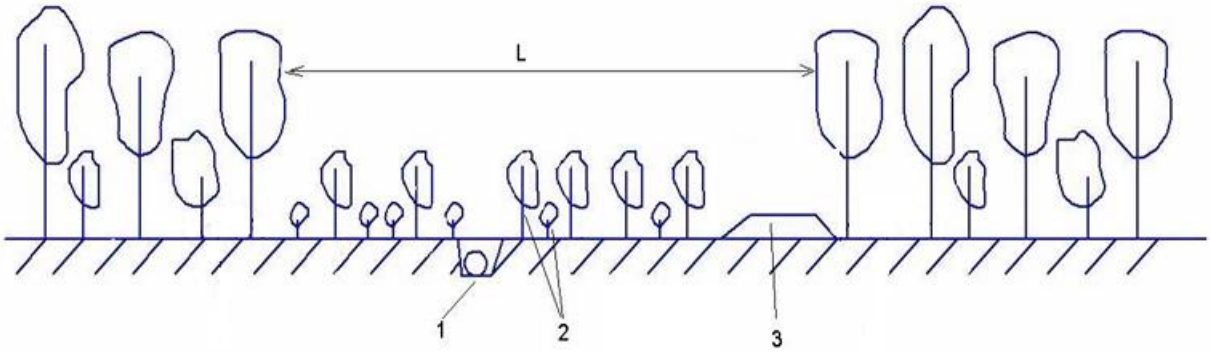


Рисунок 1. Схема размещения объектов обустройства лесных территорий газовых трубопроводов: L – ширина коридора; 1 – газопровод; 2 – лесная поросль; 3 – технологический проезд

Временные пробные площади закладывались по стандартным методикам. Подрост изучали на трансектах, с выделением 5 площадок размером 2 м х 10 м, заложенных в лесном фитоценозе на опушке, 10 м и 20 м от кромки леса; в технологическом коридоре на расстоянии 1 м и 20 м от кромки леса, вдоль грунтовой дороги, над газопроводом. Для описания напочвенного покрова заложено 20 площадок 1м х 1м.

В напочвенном покрове технологического коридора в большинстве случаев сохраняется большая часть лесных видов (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика напочвенного покрова

Характеристика	Ширина технологического коридора, м										
	26			56				75			
	Л	Д	Г	Л	Д	Т	Г	Л	Д	Т	Г
Травяно-кустарничковый ярус											
Видовая насыщенность	13	13	13	23	25	17	13	26	26	26	19
Доля лесных видов, %	77	54	69	91	24	65	46	85	46	35	47
Проективное покрытие луговых видов	<0,1	0,5	<0,1	<0,1	0,8	0,3	0,4	0,1	0,2	0,7	<0,1
Общее проективное покрытие	0,9	0,9	0,5	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,4	1,0	0,3
Мохово-лишайниковый ярус											
Видовая насыщенность	13	14	8	7	2	5	2	7	7	2	3
Общее проективное покрытие	0,9	0,9	1	1	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,6	0,9
Древесно-кустарниковый ярус (без учета подроста)											
Видовая насыщенность	0	3	3	3	2	4	3	5	2	5	4

Общее проективное покрытие	0	<0,1	<0,1	0,2	0,6	0,8	0,5	0,1	0,4	0,6	0,8

Л – лес; Д – обочины дороги; Г – газопровод; Т – пространство технологического коридора (20 м от кромки леса)

Наибольшие изменения видового состава наблюдаются на обочине грунтовой дороги, над газопроводом и в зоне технологического коридора при максимальной его ширине. Доминантным видом в напочвенном покрове сосняка брусничного является брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) (проективное покрытие 0,4 при встречаемости 100 %). Ее доминирование сохраняется и над газопроводом, и на обочине дороги. При этом над газопроводом происходит разрастание иван-чая (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) (проективное покрытие 0,2 при встречаемости 100 %), на обочине дороги – щучки дернистой (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.) и кошачьей лапки (*Antennaria dioica* (L.) Gaertn.) (проективное покрытие 0,2 при встречаемости 80 %).

В напочвенном покрове травяно-кустарничкового яруса ельника черничного доминирует черника (*Vaccinium myrtillus* L.) (0,7-0,8 при встречаемости 100 %). Но в напочвенном покрове технологического коридора она исчезает. Происходит разрастание Иван-чая (проективное покрытие от 0,2 до 0,8 при встречаемости от 40 % до 100%) в зависимости от закустаренности территории, хвоща болотного (*Equisetum palustre* L.), щучки дернистой (проективное покрытие 0,2 при встречаемости 40 -70 %); появляется мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.), одуванчик (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.), бодяк полевой (*Cirisium arvense* (L.) Scop.), нивяник (*Leucanthemum vulgare* Lam.), черноголовка (*Prunella vulgaris* L.), клевер (*Trifolium repens* L.; *Trifolium hybridum* L.; *Trifolium pratense* L.), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.).

В мохово-лишайниковом ярусе увеличивается количество видов в сосняке брусничном и технологическом коридоре на песчаных почвах за счет большего разнообразия лишайников по сравнению с ельниками черничными. Отмечается тенденция сокращения видов мохово-лишайникового яруса над газопроводом.

В связи с отсутствием подлесочных древесных пород под пологом сосняка брусничного и песчаными почвами технологический коридор не подвергается активному зарастанию древесно-кустарниковой растительностью. В технологических коридорах из-под ельников черничных зарастание ивняком (*Salix cinerea* L.; *Salix caprea* L.; *Salix viminalis* L.), шиповником (*Rosa acicularis* Lindl.), ольхой (*Alnus incana* (L.) Moench.) происходит весьма активно, проективное покрытие может доходить до 0,8.

Изменение напочвенного покрова оказывает влияние на лесовозобновительный процесс вырубленной лесной территории (таблица 3).

Таблица 3. Количество хвойного жизнеспособного подроста в зависимости от развития злаков и древесно-кустарниковой растительности

Показатель	Ширина технологического коридора, м				
	26	56		75	
	Г	Т	Г	Т	Г
Количество подроста хвойных пород, тыс. шт./га	14,5	7,3	8,9	2,5	5,7

Доля лиственных пород в суммарном количестве подроста, %	44	78	49	12	73
Проективное покрытие злаков	<0,1	0,2	0,3	0,6	<0,1
Проективное покрытие древесно-кустарниковой растительности	<0,1	0,8	0,4	0,6	0,8

Г – газопровод; Т – пространство технологического коридора (20 м от кромки леса)

Наименьшее количество жизнеспособного подроста хвойных пород наблюдается при ширине технологического коридора 75 м в результате разрастания злаков и закустаривания. Ограничение задернения происходит за счет зарастания территории лиственными породами. Наибольшее количество подроста хвойных древесных пород наблюдается над газопроводом, так как данная территория подвергалась минерализации.

С северной стороны технологического коридора на опушке леса подроста формируется больше, чем с южной в сосняке брусничном в 3,9 раз, в ельнике черничном - в 1,9 раз (табл. 4). Это обусловлено большей освещенностью северной стороны леса относительно технологического коридора и, следовательно, лучшей прогреваемостью почвы.

Таблица 4. Характеристика подроста

Характеристика	Лесной фитоценоз с южной стороны от технологического коридора			Технологический коридор				Лесной фитоценоз с северной стороны от технологического коридора		
	20 м от кромки леса	10 м от кромки леса	опушка	обочина дороги	газо-провод	20 м от кромки леса	1 м от кромки леса	опушка	10 м от кромки леса	20 м от кромки леса
Сосняк брусничный, технологический коридор шириной 26 м										
Количество подроста, тыс. шт./га	18,5	13,7	12,5	10,6	33,4	-	32,1	49,3	18,6	19,5
Доля хвойного подроста, %	59	41	46	51	56	-	59	49	78	77
Доля жизнеспособного хвойного подроста, %	63	24	34	86	78	-	95	78	47	29
Ельник черничный, технологический коридор шириной 56 м										
Количество подроста, тыс. шт./га	19,0	16,0	12,0	8,3	17,8	43,1	25,8	23,8	9,2	11,7

Доля хвойного подроста, %	51	58	46	40	51	22	40	54	73	76
Доля жизнеспособного хвойного подроста, %	75	66	42	100	100	78	80	78	75	51
Ельник черничный, технологический коридор шириной 75 м										
Количество подроста, тыс. шт./га	17,5	11,7	20,0	-	21,5	2,8	36,1	34,0	10,3	16,5
Доля хвойного подроста, %	54	56	21	-	27	88	33	16	58	29
Доля жизнеспособного хвойного подроста, %	57	46	48	-	99	100	90	50	44	57

Также достаточно большое количество подроста наблюдается на расстоянии 1 м от кромки леса. Но увеличение количества подроста в основном происходит за счет лиственных древесных пород.

Отмечается тенденция снижения жизнеспособности хвойного подроста на опушке и первых 10 м лесного фитоценоза с северной стороны от технологического коридора. На технологическом коридоре на открытых участках наблюдается наибольшая жизнеспособность хвойного подроста.

Таким образом, в результате вырубки технологического коридора и обустройства газового трубопровода происходит неравномерное заселение территории растительностью. Сохраняется от 35 до 69 % лесных видов. Задернение нарушенной территории зависит от активности заселения ее лиственными древесными породами. В результате этого количество хвойного подроста может изменяться от 2,5 до 14,5 тыс. шт./га. Наиболее благоприятные условия для лесовозобновления складываются с северной стороны технологического коридора вблизи стены леса и на ее опушке. При увеличении ширины технологического коридора возобновительный потенциал хвойных пород снижается.

Работа проведена по результатам исследований, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований. Регистрационный номер темы: 123032700030-9.

Список литературы

1. Алехина О.М., Анапольская А.И., Канина Ю.С. Об особенностях правового регулирования и алгоритме решения вопроса вырубки древесно-кустарниковой растительности в охранной зоне газопровода // Актуальные проблемы государства и права. – 2021. – Т.5, № 20. – С. 692 – 703. DOI: 10.20310/2587-9340-2021-5-20-692-703.

2. Балданова Л.П., Балданова В.А. Влияние нефтегазодобычи на состояние лесных экосистем в Иркутской области // Отходы и реурсы. – 2022. – Т.9. - №2. – 11 с. URL: https://mir-nauki.com/PDF/06ECOR222.pdf DOI: 10.15862/06ECOR222.

3. Хамедов В.А. Мониторинг состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса // Решетневские чтения. – Новосибирск, 2013. – С. 265 – 267.

4. Ширин Ю.А., Тарасова О.Г. Проблемы экологичесских последствий эксплуатации лесных территорий нефтегазовых месторождений и трубопроводов // Хвойные бореальной зоны. – 2013. - XXXI, № 1-2. – С. 155 – 158.

References

1. Alekhina O.M., Anapolskaya A.I., Kanina Y.S. On the peculiarities of legal regulation and algorithm for solving the issue of cutting down trees and shrubs in the protective zone of gas pipeline // Current Issues of the State and Law. – 2021. Vol. 5, no. 20. - Pp. 692-703. https://doi.org/10.20310/2587-9340-2021-5-20-692-703.

2. Baldanova L.P., Baldanova V.A. The impact of oil and gas production on the state of forest systems in the Irkutsk region. Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling, 9(2): 06ECOR222. Available at: https://mir-nauki.com/PDF/06ECOR222.pdf. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.15862/06ECOR222.

3. Khamedov V.A. Monitoring of the state of forest ecosystems under the influence of the oil and gas complex // Reshetnev readings. - Novosibirsk, 2013. - Pp. 265-267.

4. Shirin Yu.A., Tarasova O.G. Problems of ecological consequences of exploitation of forest territories of oil and gas fields and pipelines // Conifers of the boreal zone. – 2013. - XXXI, no. 1-2. – Pp. 155 – 158.

DOI: 10.58168/Forestry2025_173-178
УДК 543.544

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ И ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ

Н.А. Ходосова, Е.Н. Тихонова, В.Е. Мануковская, П.Е. Баранова, П.В. Черных

К.х.н, доцент кафедры «Химия и биотехнология»
К.б.н., зав.каф. «Ландшафтная архитектура и почвоведение»

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Аннотация

Исследовано влияние мелиорантов (древесные опилки, биоуголь и глинистый алюмосиликат) на свойства почвы и рост сеянцев сосны. Определены физико-химические характеристики древесных опилок и биоуглей, а также характеристики монтмориллонитовой глины. Установлено, что внесение модификаторов приводит к возрастанию показателя влажности грунта в 1,2 – 1,8 раза в сравнении с контрольным образцом. Установлено, что добавка 1 % модификаторов в почвы способствует интенсификации роста сеянцев сосны. В большей степени на характеристики почвы оказывает влияние добавление глинистого минерала монтмориллонита и биоугля на основе опилок тополя.

Ключевые слова: биоуголь, древесные опилки, монтмориллонит, сеянцы сосны, почвенные характеристики, техногенные земли

INFLUENCE OF MODIFIERS OF VARIOUS NATURE ON THE GROWTH OF PINE SEEDLINGS AND CHANGES IN SOIL PROPERTIES.

N.A. Khodosova, E.N. Tikhonova, V.E. Manukovskaya, P.E. Baranova, P.V. Chernykh

PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology
PhD in Biology, Head of the Department of Landscape Architecture and Soil Science
V.E. Manukovskaya, P.E. Baranova, P.V. Chernykh
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract

The effect of ameliorants (wood sawdust, biochar and clay aluminosilicate) on soil properties and growth of pine seedlings was studied. Physicochemical characteristics of wood sawdust and biochar, as well as characteristics of montmorillonite clay were determined. It was found that the introduction of modifiers leads to an increase in the soil moisture index by 1.2 - 1.8 times compared to the control sample. It was found that the addition of 1% modifiers to soils promotes the intensification of pine seedling growth. The addition of the clay mineral montmorillonite and biochar based on poplar sawdust has a greater effect on soil characteristics.

Keywords: biochar, sawdust, montmorillonite, pine seedlings, soil characteristics, technogenic lands

© Ходосова Н.А., Тихонова Е.Н., Мануковская В.Е., Баранова П.Е., Черных П.В., 2025

Проблема улучшения качества почвы является одной из наиболее актуальных в современном сельском и лесном хозяйстве. Деградация почв — включая истощение, эрозию, загрязнение, засоление и потерю органического вещества — угрожает продовольственной безопасности и экологическому балансу, приводит к уменьшению биоразнообразия, образованию нарушенных земель. Решение этой проблемы требует комплексного подхода: проведение почвенного анализа (химического, физического, микробиологического) для определения причины, последующий выбор методов и материалов в зависимости от типа деградации, внесение органики, биоугля и биопрепаратов и последующий мониторинг для оценки эффективности проводимых мероприятий.

Актуальность использования биоугля обусловлена его многогранным потенциалом в решении ключевых экологических, агротехнических и экономических задач. Например, в работе [1] изучено влияние биоугля на показатели плодородия почв действующих питомников Ленинградской области и рост сеянцев ели в посевных отделениях лесных питомников. Установлено, что биоуголь положительно влияет на плодородие почв в лесных питомниках. Его применение улучшает рост и развитие сеянцев хвойных пород, что подтверждается их биометрическими показателями. Использование биоугля, полученного из илов сточных вод при разной температуре пиролиза, на высоту и биомассу растений овса и горчицы, а также на микробиологические показатели серой лесной почвы проанализировано в работе [2]. Установлено, что при внесении небольшого количества биоугля (2 % и 5 %) от веса почвы высота и биомасса растений горчицы белой увеличились по сравнению с контролем в 5 раз, внесение 10% биоугля, наоборот, снижало продуктивность овса и горчицы. Показано, что биоуголь из илов сточных вод увеличивал содержание валового азота. Численность большинства трофических групп микроорганизмов возрастала при внесении биоугля из илов

Не менее интересным является сравнение влияния добавок различной природы на прорастание культур в загрязненных субстратах. В исследовании [3] изучено влияние добавления сорбентов (биочар, бентонит, куриный помёт, органо-цеолитовый субстрат) на прорастание злаков в почве, загрязненной ионами меди. Все сорбенты положительно влияли на сухую массу растений, но их эффективность зависела от вида растения и стадии развития. Результаты оказались неоднозначными: большее влияние на прорастание и рост оказал органо-цеолитовый субстрат. При этом семена лучше прорастали в загрязнённой почве без сорбентов. Самую низкую всхожесть показал вариант с куриным помётом, хотя на поздних стадиях он стимулировал рост сеянцев. Таким образом, для прорастания семян и для стимуляции роста растений требуются разные добавки. Это указывает на необходимость разработки специфических препаратов: одни – для обработки семян, другие – для внесения в почву на стадии роста, что может ускорить рекультивацию.

Использование сухих опилок в качестве добавки в суглинистую почву изучено в [4]. При внесении опилок отмечено значительное увеличение содержания органического вещества, доступных N, P, K, микроэлементов, влагоёмкости, урожайности винограда (до 4,23 т/га), снижение плотности почвы и pH. Таким образом, опилки могут быть эффективным органическим удобрением, улучшающим плодородие почвы и продуктивность виноградников.

Весьма перспективным решением улучшения качества почвы является использование глинистых минералов. Глины обеспечивают многофункциональный подход к решению проблемы: улучшают структуру, повышают влагоудержание, создают запас питательных веществ и стимулируют рост растений. [5].

Цель данного исследования состояла в определении влияния различных видов модификаторов на изменение свойств почвы и на рост сеянцев сосны обыкновенной (Pinus sylvestris).

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны слаборазвитые почвы отвала Орлов лог, расположенного на территории сельского поселения Девицкое Семилукского района Воронежской области. Заложен модельный эксперимент: в 36 пластиковых емкостях объемом

1 л и весом 34 г помещали по 900 г почвы, высушенной до воздушно-сухого состояния при t = 20ºС.

В качестве модификаторов вносили добавки в почву в количестве 1% от ее массы: опилки тополя и березы, биоуголь, полученный карбонизацией опилок тополя и березы, монтмориллонитовую глину. Сырьем для опилок и угля послужили измельченные отходы лесопильного производства. Карбонизацию опилок осуществляли при температуре 500°С, в закрытом реакторе, скорость нагрева 10°С/мин. Период карбонизации составляет 3 ч. Монтмориллонит предварительно измельчили в ступке и просеили через сито, размер используемой фракции составил 0,315 мм. В качестве контроля использовался почвогрунт без внесения добавок. Эксперимент выполнен в шести повторностях для каждого модификатора.

Результаты и обсуждения

Для исследуемых модификаторов были определены следующих физико-химические характеристики (табл. 1), методика определения описана в [6].

Таблица 1. Физико-химические характеристики модификаторов

Образец	Насыпная плотность, г/л	Влажность, W, %	pH
Опилки березы	243,5	9,7	5,8
Уголь береза	190,1	4,3	7,5
Опилки тополь	384,7	8,3	5,9
Уголь тополь	278,5	3,7	7,8

Насыпная плотность не является постоянной величиной для опилок и зависит от характеристик материала и условий хранения. Можно отметить, что насыпная плотность для биоуглей, полученных карбонизацией опилок, снижается, что вероятно связано с уменьшением размера частиц.

Опилки имеют влажность около 10 %, содержание влаги в биоуглях снижается в 2,2 раза.

Величина pH угля является важным свойством материала, которое в основном зависит от количества органических функциональных групп, растворимых органических соединений и содержания золы. Древесные опилки имеют кислую реакцию среды, карбонизация способствует возрастанию величины pH углей до слабощелочной.

Используемый образец монтмориллонита содержит до 60% породообразующего компонента и обладает слабощелочной реакцией среды (табл. 2).

Таблица 2. Адсорбционно-структурные характеристики монтмориллонита

Сорбент	Параметры					
	Плотность, кг/см^3			pH	Пористость, %	Суммарный объем пор, см^3/г
	насыпная	истинная	кажущаяся			
монтмориллонит	1,10	2,63	1,62	7,8	23,1	0,13

Для исследуемых образцов почвы были определены влажность, гигроскопическая влажность и pH (табл. 3).

Таблица 3. Влажность и реакция среды образцов почвы, %

Модификатор	Влажность	Гигроскопическая влажность	pH
Контроль	45,4	49,4	7,54
Монтмориллонит	74,0	85,4	7,46

Опилки тополь	54,0	54,3	7,57
Опилки березы	81,2	83,6	7,46
Уголь тополь	57,8	58,9	7,51
Уголь береза	81,9	87,7	7,43

Для анализа был проведен отбор субстрата из каждой емкости, с глубины 3-5 см, помещены в герметичную тару, запечатаны, промаркированы и доставлены в лабораторию, где хранились до дальнейших измерений.

Согласно данным таблицы 3 внесение модификаторов приводит к возрастанию показателя влажности грунта в 1,2 – 1,8 раза в сравнении с контрольным образцом. Наиболее эффективно удерживать влагу в субстрате позволяют опилки и биоуголь на основе опилок березы. Также эффективно использовать в качестве влагоудерживающего агента глинистый минерал монтмориллонит. Биоуголь характеризуется способностью к аккумуляции, механической устойчивостью частиц, а также возможностью миграции частиц биоугля с почвой. При внесении биоугля может увеличиваться пористость и поверхностная площадь почвы, улучшается влагоудерживающая способность почвы и аэрированность, особенно для глинистых почв [7].

Исходный образец почвы имеет слабощелочную реакцию. Внесение мелиорантов в количестве 1 % от массы грунта не приводит к изменению кислотности почвы ни с одним из образцов.

Введение модификаторов для улучшения качества почвы удобно оценивать по росту и развитию растений. С этой целью в течение всего вегетационного периода проводилась регулярная оценка состояния сеянцев сосны (через 1, 2, 6 и 8 месяцев), замер высоты и анализ роста растений: у всех сеянцев определялась высота сеянца линейкой с точностью до 0,1 см и диаметр корневой шейки штангенциркулем, с точностью до 0,01 мм (табл. 4).

Таблица 4. Средние показатели роста сосен в зависимости от модификатора

	Прирост растений, см			
	1 месяц	2 месяца	6 месяцев	8 месяцев
контроль	**1,58**	**3,02**	**7,51**	**8,17**
опилки тополь	2,82	3,33	7,17	7,58
уголь тополь	1,75	2,82	8,333	9,03
опилки береза	2,45	3,37	8,17	8,83
уголь береза	2,12	2,93	8,33	8,51
монтмориллонит	3,27	3,97	10,08	10,33

Полученные данные свидетельствуют о том, что сеянцы сосны показали неоднозначную динамику роста при внесении модификаторов. Наибольшее влияние на рост сосны оказывает внесение глинистого алюмосиликата монтмориллонита и биоугля на основе опилок тополя. Примерно сопоставимые результаты получены при анализе сеянцев на контрольном образце почвы, а также при внесении березовых опилок и биоугля на их основе. Наименьший прирост отмечен при добавлении в почву опилок тополя.

Наглядно результат прироста сеянцев сосны отображен на рисунке 1.

Анализ роста сеянцев за 8 месяцев показал, что внесение в почву мелиорантов способствует созданию положительной динамики роста сеянцев сосны. В большей степени отмечается рост сосны при внесении в почву монтмориллонита и биоугля на основе опилок тополя.

Рис. 1. Прирост сеянцев сосны в зависимости от вида модификатора

Таким образом, использование в качестве почвоулучшителей органо-минеральных добавок (древесных опилок, биоуглей на их основе и монтмориллонитовой глины) способствует повышению влажности почвы в 1,2 – 1,8 раза в сравнении с контрольным образцом. Показатель pH почвы не изменяется. По влиянию на рост сеянцев сосны исследуемые модификаторы можно расположить в последовательности: опилки тополь – опилки береза – уголь береза – монтмориллонит – уголь тополь. Биоуголь способствует восстановлению плодородия почв и снижению рисков накопления токсинов в сельскохозяйственной продукции. Благодаря пористой структуре биоуголь как губка, удерживает влагу и питательные вещества (калий, кальций, магний), что особенно важно в засушливых регионах. Это снижает вымывание удобрений и уменьшает потребность в поливе, тем самым способствуя интенсивному росту растительности.

Список литературы

1. Дурова А.С., Жигунов А.В. Влияние биоугля на показатели плодородия почв и рост сеянцев ели в посевных отделениях лесных питомников // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. №223.стр 140-153.

2. Рязанов С. С., Кулагина В. И., Грачев А. Н., Сунгатуллина Л. М., Забелкин С. А., Шагидуллин Р. Р. Влияние биоуглей из илов сточных вод на рост растений, почвенные микроорганизмы и содержание азота в серых лесных почвах // Принципы экологии. 2020. Т. 9. № 4. С. 3-22

3. Możdżeń K., Barabasz-Krasny B., Kviatková T., Zandi P., Turisová I. The effect of sorbent additives in copper-contaminated soils on seed germination and early growth of cereals // Molecules. 2021. Vol. 26, No. 18. Article 5449

4. Kebalo L. F., Delibacak S. Soil properties and grape yield of vineyard as affected by sawdust addition in a semi-arid region // Eurasian Journal of Soil Science. 2022. Vol. 11, No. 2. pp. 133–140

5. Montmorillonite content is an influential soil parameter of grapevine development and yield in South Uruguay Gustavo Pereyra, Milka Ferrer, Anne Pellegrino, Remi Gaudin // Natural and environmental resources Vol. 26 No. 2 (2022). URL: https://doi.org/10.31285/AGRO.26.1124.

6. Khodosova N., Tomina E., Manukovskaya V., Baranova P. The influence of the nature of raw materials on the biochars' characteristics. BIO Web of Conferences. 2024. T. 145. 03004.

7. Kolb S. Understanding the Mechanisms by which a Manure-Based Charcoal Product Affects Microbial Biomass and Activity, PhD thesis, University of Wisconsin. 2007. Green Bay, US.

References

1. Durova A.S., Zhigunov A.V. The influence of biochar on soil fertility indices and growth of spruce seedlings in sowing departments of forest nurseries//News of the St. Petersburg Forest Engineering Academy. 2018. №223.pp. 140-153.

2. Ryazanov S. S., Kulagina V. I., Grachev A. N., Sungatullina L. M., Zabelkin S. A., Shagidullin R. R. Effect of biochars from wastewater sludge on plant growth, soil microorganisms and nitrogen content in gray forest soils // Principles of Ecology. 2020. V. 9. № 4. P. 3–22.

3. Możdżeń K., Barabasz-Krasny B., Kviatková T., Zandi P., Turisová I. The effect of sorbent additives in copper-contaminated soils on seed germination and early growth of cereals // Molecules. 2021. Vol. 26, No. 18. Article 5449

4. Kebalo L. F., Delibacak S. Soil properties and grape yield of vineyard as affected by sawdust addition in a semi-arid region // Eurasian Journal of Soil Science. 2022. Vol. 11, No. 2. pp. 133–140

5. Montmorillonite content is an influential soil parameter of grapevine development and yield in South Uruguay Gustavo Pereyra, Milka Ferrer, Anne Pellegrino, Remi Gaudin // Natural and environmental resources. 2022. Vol. 26 No. 2. URL: https://doi.org/10.31285/AGRO.26.1124

6. Khodosova N., Tomina E., Manukovskaya V., Baranova P. The influence of the nature of raw materials on the biochars' characteristics. BIO Web of Conferences. 2024. T. 145. 03004.

7. Kolb S. Understanding the Mechanisms by which a Manure-Based Charcoal Product Affects Microbial Biomass and Activity, PhD thesis, University of Wisconsin. 2007. Green Bay, US.

DOI: 10.58168/Forestry2025_179-190
УДК 630.181:631.46

МИКОРИЗНЫЙ СИМБИОЗ И ЕГО РОЛЬ В УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ: ОТ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА К ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЮ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Т. Л. Шешницан
ассистент кафедры лесной генетики, биотехнологии и физиологии растений
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Проведен обзор исследований, который показал, что микоризный симбиоз играет ключевую роль в устойчивости экосистем, влияя на круговорот веществ и секвестрацию углерода. Разные типы микоризы по-разному воздействуют на биогеохимические циклы и продуктивность растений. Искусственная микоризация эффективна на бедных почвах, повышая выживаемость древесных пород, что делает её перспективной в лесовосстановлении и адаптации к изменению климата.

Ключевые слова: микориза; микоризный симбиоз; эктомикориза; арбускулярная микориза; биогеохимические циклы; секвестрация углерода; лесовосстановление; рекультивация; устойчивость растений.

MYCORRHIZAL SYMBIOSIS AND ITS ROLE IN PLANT RESILIENCE: FROM CARBON SEQUESTRATION TO FOREST RESTORATION AND RECLAMATION

T. L. Sheshnitsan

Assistant, Department of Forest Genetics, Biotechnology and Plant Physiology
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. A review of studies has demonstrated that mycorrhizal symbiosis plays a crucial role in ecosystem stability by influencing nutrient cycling and carbon sequestration. Different types of mycorrhiza exert distinct effects on biogeochemical cycles and plant productivity. Artificial mycorrhization has proven effective on nutrient-poor soils by enhancing the survival of tree species, making it a promising tool for forest restoration and for adaptation to climate change.

Keywords: mycorrhiza; mycorrhizal symbiosis; ectomycorrhiza; arbuscular mycorrhiza; biogeochemical cycles; carbon sequestration; forest restoration; land reclamation; plant resilience

Введение

Микоризный симбиоз играет ключевую роль в функционировании наземных экосистем, поскольку круговорот органического вещества и биогеохимические циклы почвы во многом определяются структурой и активностью микробных сообществ [47]. В настоящее время известно около 50 000 микобионтов и более 250 000 видов растений, образующих микоризу [59]. Симбиотические отношения растений и грибов преимущественно носят мутуалистический характер [9], однако могут охватывать широкий спектр взаимодействий – от конкурентных и нейтральных до паразитических [36]. Основная функция микобионта заключается в обеспечении растения-хозяина необходимыми питательными веществами. В ответ на это растения передают грибам фиксированный в процессе фотосинтеза углерод и

© Шешницан Т. Л., 2025

витамины [59, 43]. По последним оценкам, микоризные грибы играют одну из ведущих ролей в глобальном углеродном цикле: ежегодный поток углерода, передаваемого в живой мицелий, составляет около 36% от мировых выбросов CO_2, связанных с использованием ископаемого топлива [32].

Значение микоризы выходит далеко за рамки трофических взаимодействий. Установлено, что микоризные грибы повышают устойчивость растений к биотическим стрессорам (например, патогенам), абиотическим факторам (засоление, засуха) [28], а также к антропогенным воздействиям, включая загрязнение тяжёлыми металлами [45]. Немаловажной является их роль в почвообразовании: микориза способствует агрегации почвенных частиц [8], стабилизирует структуру почвы и улучшает её гидрологический и воздушный режим [51]. Эти функции напрямую повышают выживаемость инокулированных сеянцев древесных растений как в условиях питомников, так и при высадке ex situ [66].

Искусственная микоризация рассматривается как перспективное направление в лесном хозяйстве и рекультивации. Выращивание сеянцев с использованием микоризной инокуляции позволяет снизить стресс при пересадке, повысить приживаемость и ускорить рост в первые годы жизни. Внесение спор или гиф микоризных грибов способствует улучшению физиологического состояния растений за счёт повышения фотосинтетической активности, увеличения поглощения воды и макро- и микроэлементов [22]. Однако на обезлесенных территориях длительное отсутствие растений-хозяев ведёт к деградации микробного сообщества, что замедляет колонизацию корней микоризными грибами [19]. Именно поэтому во многих регионах мира неудачи в лесоразведении и снижение продуктивности лесных культур связываются с отсутствием соответствующих микобионтов [44]. Таким образом, изучение роли микоризных симбиозов в устойчивости растений приобретает особую актуальность в контексте смягчения последствий изменения климата, лесовосстановления и рекультивации нарушенных земель.

Целью настоящего исследования является анализ влияния наиболее распространённых типов микоризы на процессы секвестрации углерода в почве, а также обобщение опыта применения искусственной микоризации для повышения устойчивости лесных культур к неблагоприятным факторам среды при лесовосстановлении и рекультивации.

Тип микоризных ассоциаций. Согласно палеонтологическим данным и результатам анализа ДНК, именно микоризный симбиоз сыграл решающую роль в колонизации суши потомками пресноводных водорослей [42]. В настоящее время выделяют шесть типов микоризы: арбускулярную, арбутоидную, эктомикоризу, эрикоидную, моноптропоидную и орхидную [17]. Наиболее широкое распространение в наземных биомах имеют арбускулярная, эктомикориза и эрикоидная ассоциации, которые встречаются более чем у 85% сосудистых растений [53,12]. Считается, что специфичность взаимодействия растения-хозяина и гриба определяется общим коэволюционным опытом [35]. Однако состав микробного сообщества формируется под воздействием множества факторов: физико-химических характеристик почвы, корневых экссудатов, зависящих от генотипа и метаболизма растения [2], а также эндофитных микроорганизмов, способных колонизировать внутренние ткани растений [43]. В ряде исследований показано, что микробные сообщества изменяются в зависимости от вида древесных растений и сезона, при этом динамика содержания углерода и азота в почве во многом совпадает [24]. Микобионты способны потреблять от 10% до 40% углеводов, продуцируемых растением в процессе фотосинтеза [9]. Следовательно, такие факторы, как сезонные экологические условия, состав корневых выделений и количество листового опада, оказывают значительное влияние на структуру микробного сообщества почвы [42].

Эктомикориза играет центральную роль в круговороте питательных веществ в лесных экосистемах [14]. Она формируется преимущественно грибами из отделов Ascomycota и Basidiomycota, ареал которых простирается от бореальных лесов до тропических экосистем [58]. В умеренных и бореальных зонах эктомикоризный симбиоз характерен для 80–90% древесных видов (например, Pinaceae, Fagaceae, Betulaceae) [56], а всего с ним ассоциированы около 6000 видов растений [12]. Корневая система таких растений характеризуется короткими,

утолщёнными концами, окружёнными плотной сетью гиф, не проникающих через клеточные стенки. При этом корневые волоски у растений не развиваются, их функции берет на себя гриб [49]. В бореальных лесах эктомикориза обеспечивает до 86% поступления азота в растения [33], составляет около 39% микробной биомассы и формирует 10–35% общего потока почвенного дыхания [53,34].

Сравнительные исследования показывают, что процессы биогеохимических циклов почв различаются в зависимости от преобладающего типа микоризных ассоциаций. Экосистемы с доминированием эктомикоризы характеризуются более высоким отношением C:N в почве, что свидетельствует о большей устойчивости органического углерода и сниженной доступности азота [6]. Эктомикоризные грибы продуцируют широкий набор гидролитических и окислительных ферментов, обеспечивающих разложение органического вещества [61], тогда как арбускулярная микориза обладает ограниченным ферментативным потенциалом [62]. Еще в середине XX века советские исследователи отмечали, что до 90% корней сеянцев ели, сосны и березы развивались в грубых органических субстратах (корневые лапы, кора, древесные остатки), что указывало на способность эктомикоризы добывать воду и питательные вещества с помощью ферментативных механизмов [5]. Современные исследования подтверждают эту специфику: например, у дуба красного, ассоциированного с эктомикоризой, выделение корневых экссудатов почти втрое выше, чем у черного ореха с арбускулярной микоризой [68]. На бедных почвах эктомикориза более эффективно усваивает азот [47] и формирует мицелий, устойчивый к разложению [27]. Учитывая способность отдельных таксонов продуцировать ферменты с высокой деградационной активностью, их участие в углеродном цикле необходимо рассматривать особенно внимательно в условиях дефицита питательных веществ [13]. В целом, запасы углерода в почвах экосистем с преобладанием эктомикоризы на 70% выше, чем в экосистемах, где доминируют арбускулярные ассоциации [6].

Кроме того, эктомикориза формирует общие микоризные сети, объединяющие растения разных видов, разных систематических групп, а также представителей различных ярусов [10]. Эти сети выполняют важные функции: ускоряют укоренение молодых деревьев, способствуют водообеспечению и снижают уровень водного стресса [57], играют ключевую роль в секвестрации углерода [64], а также обеспечивают передачу сигналов стресса между растениями [54].

Арбускулярная микориза является наиболее распространённым типом симбиоза в природе, встречаясь примерно у 80% наземных растений [21]. Таксономически она относится к классу Glomeromycetes, подотделу Glomeromycotina отдела Mucoromycota [11]. Ее морфология включает арбускулы, свободные гифы и споры; у некоторых видов присутствуют везикулы [67]. В последние годы получены доказательства, что бактерии (фосфатсолюбилизирующие, «хелперы» и др.) могут выступать третьим компонентом микоризного симбиоза, оказывая стимулирующее воздействие на его функционирование [69].

Экспериментальные данные показывают, что арбускулярная микориза обеспечивает растения фосфором, увеличивая его поступление до 90% [60], а также усиливает поглощение калия, серы, магния, кальция, цинка и железа [26]. Кроме того, она участвует в процессах детоксикации тяжелых металлов, повышая устойчивость растений к загрязнению [16]. В условиях прогнозируемого увеличения частоты и продолжительности засух арбускулярная микориза играет важную роль в адаптации растений благодаря следующим механизмам: агрегация почвенных частиц; повышение поглощения воды и питательных веществ; улучшение осмотической адаптации; усиление антиоксидантной защиты; регуляция гормонального баланса; индукция экспрессии стрессоустойчивых генов [65].

Существенный вклад арбускулярная микориза вносит и в секвестрацию углерода. Короткий жизненный цикл гиф (менее недели) способствует накоплению органического вещества в почве [55]. Биомасса внекорневых гиф составляет 20–30% микробной биомассы и эквивалентна примерно 15% органического вещества в наземных экосистемах [46,20]. При

этом растение-хозяин передает эндомикоризе до 4–20% углерода, фиксированного в ходе фотосинтеза [37].

Искусственная микоризация. В России интерес к микоризным ассоциациям в связи с развитием степного лесоразведения возник ещё в конце XIX века [4], а наибольшего развития исследования достигли в 1950-е годы XX века. За рубежом активное изучение искусственной микоризации приходится на вторую половину XX века. Накопленные данные многочисленных экспериментов подтверждают положительное влияние искусственной инокуляции микоризными грибами на рост и развитие древесных растений как в питомниках, так и в полевых условиях. Так, Лу с соавт. [40] успешно инокулировали сеянцы сосны китайской (*Pinus tabuliformis*) эктомикоризным грибом *Suillus luteus*, при этом положительный эффект наблюдался не только в теплице, но и после посадки на лесокультурных площадях. Аналогичные результаты получены при микоризации сеянцев тополя, пробкового дуба, осины [50], а также северного болотного дуба (*Quercus ellipsoidalis*) с использованием гриба *Pisolithus tinctorius* [18]. В условиях сухой степи Нижнего Поволжья приживаемость микоризных сеянцев сосны обыкновенной увеличивалась в десять раз по сравнению с контрольными, а их биохимический состав отличался более высоким содержанием азота и фосфора [3]. В Литве положительный эффект от искусственной инокуляции сосны обыкновенной эктомикоризными грибами рода *Suillus* также подтверждён [38].

Вместе с тем результаты исследований остаются неоднозначными, что затрудняет формирование универсальных подходов. Основные трудности связаны с адаптацией инокулированного посадочного материала, выращенного на стерильных или бедных питательными веществами субстратах питомника, после его переноса на лесокультурные площади [52]. Кроме того, искусственная инокуляциия способны изменять состав местных микробных сообществ, подавлять их и инициировать сукцессионные перестройки экосистем [30]. Поэтому при выборе грибов для искусственной микоризации необходимо учитывать их конкурентные взаимоотношения и экологические ниши даже внутри одного вида [1]. Так, сеянцы сосны съедобной (*Pinus edulis*), инокулированные эктомикоризным грибом, показывали низкий уровень колонизации, поскольку росли в почве, где доминировали арбускулярные микоризные ассоциации [31].

Согласно гипотезе «микоризного опосредования» [63], древесные растения, связанные с арбускулярной микоризой, способны увеличивать видовое богатство травянистых растений с аналогичным типом симбиоза. Эта гипотеза подтверждена на материале 103 лесных массивов Великобритании, где эффект сохранялся более 30 лет, несмотря на сукцессионные изменения [29]. Следовательно, выбор адекватных микобионтов является критическим условием успешных программ искусственной инокуляции, обеспечивающих повышение устойчивости лесных культур при лесовосстановлении и рекультивации [39].

Интересно, что положительный эффект микоризации не всегда проявляется в питомнике, но может проявляться в полевых условиях. Ряд исследований показал, что инокуляция эктомикоризными грибами улучшала выживаемость и рост растений после посадки на лесокультурные площади, хотя в питомнике значимого эффекта не наблюдалось. Предполагается, что активация эктомикоризы происходит преимущественно в условиях стрессовых факторов – на бедных почвах, в условиях дефицита минерального питания и влаги [53].

Масштабные исследования, проведённые в США и охватившие 82 000 лесных участков, показали, что леса с доминированием только одного типа микоризы (эктомикоризы или арбускулярной) характеризуются низким видовым богатством древесных растений [15]. Напротив, совместное участие разных типов микориз ассоциировано с повышением продуктивности лесных экосистем и может компенсировать недостаток биоразнообразия [41].

Заключение

Проведённый обзор показал, что микоризный симбиоз играет ключевую роль в поддержании устойчивости экосистем, влияя как на круговорот питательных веществ, так и на процессы секвестрации углерода в почве за счёт значительной доли грибной биомассы. В

отличие от растений-хозяев, микобионты способны быстрее адаптироваться к изменениям климатических условий, что потенциально повышает резистентность растительных сообществ к абиотическим и антропогенным стрессорам. Известно, что восстановление естественного почвенного микробиома может увеличить растительную биомассу почти на две трети, что подтверждает фундаментальное значение микробных сообществ для продуктивности и устойчивости экосистем [7].

Анализ практических результатов исследований показал, что искусственная микоризация положительно влияет на рост и приживаемость древесных растений, как в питомниках, так и в полевых условиях, особенно на деградированных и обеднённых почвах [25]. Вместе с тем успешность инокуляции во многом зависит от правильного выбора штаммов микоризных грибов и их адаптации к местным экологическим условиям. Результаты свидетельствуют о том, что искусственная микоризация может стать эффективным инструментом при лесовосстановлении, рекультивации нарушенных территорий и создании устойчивых лесных культур. Особое значение данный подход приобретает в контексте климатических инициатив.

Список литературы

1. Бурцев Д. С. Зарубежный опыт искусственной микоризации сеянцев лесных древесных пород с закрытой корневой системой // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2014. – № 1.
2. Елеусенова Н. Г., Селиванов И. А. Микотрофность растений во флоре северных пустынь Казахстана // Учен. зап. Пермск. пед. ин-та. – 1973. – Т. 112.
3. Иозус А. П., Завьялов А. А., Бойко С. Ю. Особенности влияния микоризы на приживаемость и биохимический состав сеянцев сосны обыкновенной в сухой степи Нижнего Поволжья // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 6. – С. 23–27.
4. Костычев П. А. Состав органических веществ почвы в связи с вопросом о полезности микориз // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. – 1891. – Т. 21.
5. Саляев Р. К. Корни в коре // Природа : ежемесячный популярный естественно-научный журнал АН СССР. – 1961. – № 2. – С. 38.
6. Averill C. Divergence in plant and microbial allocation strategies explains continental patterns in microbial allocation and biogeochemical fluxes // Ecology Letters. – 2014. – Vol. 17. – P. 1202–1210.
7. Averill C., Anthony M. A., Baldrian P., Finkbeiner F., van den Hoogen J., Kiers T., Kohout P., Hirt E., Smith G. R., Crowther T. W. Defending Earth’s terrestrial microbiome // Nature Microbiology. – 2022. – Vol. 7. – P. 1717–1725.
8. Asmelash F., Bekele T., Birhane E. The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in the restoration of degraded lands // Frontiers in Microbiology. – 2016. – Vol. 7. – Article 1095.
9. Bhardwaj A. K., Chandra K. K., Kumar R. Mycorrhizal inoculation under water stress conditions and its influence on the benefit of host–microbe symbiosis of Terminalia arjuna species // Bulletin of the National Research Centre. – 2023. – Vol. 47. – P. 1–13.
10. Booth M. G. Mycorrhizal networks mediate overstorey–understorey competition in a temperate forest // Ecology Letters. – 2004. – Vol. 7. – P. 538–546.
11. Bonfante P., Genre A. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis // Nature Communications. – 2010. – Vol. 1. – Article 48.
12. Brundrett M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis // Plant and Soil. – 2009. – Vol. 320. – P. 37–77.
13. Bödeker I. T. M. Functional Ecology of Ectomycorrhizal Fungi : Doctoral Thesis. – Uppsala : Swedish University of Agricultural Sciences, 2012. – 36 p.
14. Cairney J. W. G., Meharg A. A. Interactions between ectomycorrhizal fungi and soil saprotrophs: implications for decomposition of organic matter in soils and degradation of

organic pollutants in the rhizosphere // Canadian Journal of Botany – Revue Canadienne de Botanique. – 2002. – Vol. 80. – P. 803–809.
15. Carteron A., Vellend M., Laliberté E. Mycorrhizal dominance reduces local tree species diversity across US forests // Nature Ecology & Evolution. – 2022. – Vol. 6. – P. 370–374.
16. Chen J., Wang L., Liang X., Li B., He Y., Zhan F. An arbuscular mycorrhizal fungus differentially regulates root traits and cadmium uptake in two maize varieties // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2023. – Vol. 264. – Article 115458.
17. Chandra K. K., Kumar R. Forestry Practicals. – Jodhpur : Scientific Publisher, 2023.
18. Dickie I. A., Montgomery R. A., Reich P. B., Schnitzer S. A. Physiological and phenological responses of oak seedlings to oak forest soil in the absence of trees // Tree Physiology. – 2007. – Vol. 27. – P. 133–140.
19. Ding Q., Liang Y., Legendre P., He X., Pei K., Du X., Ma K. Diversity and composition of ectomycorrhizal community on seedling roots: the role of host preference and soil origin // Mycorrhiza. – 2011. – Vol. 21. – P. 669–680.
20. Deng C., Zou Y. N., Hashem A., Kuca K., Abd-Allah E. F., Wu Q. S. The visualized knowledge map and hot topic analysis of glomalin-related soil proteins in the carbon field based on Citespace // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. – 2023. – Vol. 10. – Article 48.
21. Faghihinia M., Jansa J., Halverson L. J., Staddon P. L. Hyphosphere microbiome of arbuscular mycorrhizal fungi: a realm of unknowns // Biology and Fertility of Soils. – 2023. – Vol. 59. – P. 17–34.
22. Fini A., Frangi P., Amoroso G., Piatti R., Faoro M., Bellasio C., Ferrini F. Effect of controlled inoculation with specific mycorrhizal fungi from the urban environment on growth and physiology of containerized shade tree species growing under different water regimes // Mycorrhiza. – 2011. – Vol. 21. – P. 703–719.
23. Francis M. Martin, Stéphane Uroz, David G. Barker. Ancestral alliances: Plant mutualistic symbioses with fungi and bacteria // Science. – 2017. – Vol. 356. – P. 819.
24. Gardner T. G., Frene J. P., Lawson S. S., Lue Sue N. D., Handy J., Crawford R. H. The impact of tree species on microbial community structure and soil function on forest plantations in the Central Hardwoods Region (CHR) // Forests. – 2023. – Vol. 14. – Article 859.
25. Gao Q., Yang Z. L. Ectomycorrhizal fungi associated with two species of Kobresia in an alpine meadow in the eastern Himalaya // Mycorrhiza. – 2010. – Vol. 20, № 4. – P. 281–287.
26. Giovannetti M., Tolosano M., Volpe V., Kopriva S., Bonfante P. Identification and functional characterization of a sulfate transporter induced by both sulfur starvation and mycorrhiza formation in Lotus japonicus // New Phytologist. – 2014. – Vol. 204. – P. 609–619.
27. Goebel M., Hobbie S. E., Bulaj B., Zadworny M., Archibald D. D., Oleksyn J., Reich P. B., Eissenstat D. M. Decomposition of the finest root branching orders: linking belowground dynamics to fine-root function and structure // Ecological Monographs. – 2011. – Vol. 81, № 1. – P. 89–102.
28. Grover M., Ali S. Z., Sandhya V., Rasul A., Venkateswarlu B. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2011. – Vol. 27. – P. 1231–1240.
29. Guy P., Richard S., Simon M. S., Tibbett M., Pickles B. J. Mycorrhizal type of woody plants influences understory species richness in British broadleaved woodlands // New Phytologist. – 2022.
30. Hart M. M., Antunes P. M., Chaudhary V. B., Abbott L. K. Fungal inoculants in the field: is the reward greater than the risk? // Functional Ecology. – 2018. – Vol. 32. – P. 126–135.
31. Haskins K. E., Gehring C. A. Evidence for mutualist limitation: the impacts of conspecific density on the mycorrhizal inoculum potential of woodland soils // Oecologia. – 2005. – Vol. 145. – P. 123–131.

32. Hawkins H. J., Cargill R. I., Van Nuland M. E., Hagen S. C., Field K. J., Sheldrake M., Soudzilovskaia N. A., Kiers E. T. Mycorrhizal mycelium as a global carbon pool // Current Biology. – 2023. – Vol. 33. – P. R560–R573.
33. Hobbie S. E., Reich P. B., Oleksyn J., Ogdahl M., Zytkowiak R., et al. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden // Ecology. – 2006. – Vol. 87. – P. 2288–2297.
34. Högberg H. T., Sobanski T., Novellino A., Whelan M., Weiss D. G., Bal-Price A. K. Application of microelectrode arrays (MEAs) as an emerging technology for developmental neurotoxicity: evaluation of domoic acid-induced effects in primary cultures of rat cortical neurons // Neurotoxicology. – 2010.
35. Hoeksema J. D., Bever J. D., Chakraborty S., Chaudhary V. B., Gardes M., Gehring C. A., Hart M. M., Housworth E. A., Kaonongbua W., Klironomos J. N. Evolutionary history of plant hosts and fungal symbionts predicts the strength of mycorrhizal mutualism // Communications Biology. – 2018. – Vol. 1. – P. 1–10.
36. Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A., Kopriva S. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition – Current knowledge and future directions // Frontiers in Plant Science. – 2017. – Vol. 8. – Article 1617.
37. Leake J., Johnson D., Donnelly D., Muckle G., Boddy L., Read D. Erratum: Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning // Canadian Journal of Botany. – 2004. – Vol. 82. – P. 1016–1045.
38. Leski T., Aučina A., Skridaila A. Ectomycorrhizal community structure of different genotypes of Scots pine under forest nursery conditions // Mycorrhiza. – 2010. – Vol. 20. – P. 473–481.
39. Lu N., Zhou X., Cui M., Yu M., Zhou J. X., Qin Y. S., Li Y. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi promotes the growth of Morus alba L. seedlings under greenhouse conditions // Forests. – 2015. – Vol. 6. – P. 734–747.
40. Lu N., Yu M., Cui M., Luo Z., Feng Y., Cao S., Sun Y., Li Y. Effects of different ectomycorrhizal fungal inoculates on the growth of Pinus tabulaeformis seedlings under greenhouse conditions // Forests. – 2016. – Vol. 7. – Article 316.
41. Luo S., Phillips R. P., Jo I., Fei S., Liang J., Schmid B., Eisenhauer N. Higher productivity in forests with mixed mycorrhizal strategies // Nature Communications. – 2023. – Vol. 14. – Article 1377.
42. Ma X. C., Geng Q. H., Zhang H. G., Bian C. Y., Chen H. Y. H., Jiang D. L., Xu X. Global negative effects of nutrient enrichment on arbuscular mycorrhizal fungi, plant diversity and ecosystem multifunctionality // New Phytologist. – 2021. – Vol. 229. – P. 2957–2969.
43. Martin Francis M., Uroz Stéphane, Barker David G. Ancestral alliances: Plant mutualistic symbioses with fungi and bacteria // Science. – 2017. - Vol. 356. - Article 819.
44. Marx D. H., Marrs L. F., Cordell C. E. Practical use of the mycorrhizal fungal technology in forestry, reclamation, arboriculture, agriculture, and horticulture // Dendrobiology. – 2002. – Vol. 47. – P. 27–40.
45. Meddad-Hamza A., Beddiar A., Gollotte A., Lemoine M. C., Kuszala C., Gianinazzi S. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth of olive trees and their resistance to transplantation stress // African Journal of Biotechnology. – 2010. – Vol. 9. – P. 1159–1167.
46. Miller R. M., Wilson G. W. T., Johnson N. C. Arbuscular mycorrhizae and grassland ecosystems // In: Southworth D. (ed.) Biocomplexity of Plant–Fungal Interactions. – Wiley, 2012. – P. 59–84.
47. Nicolas C., Martin-Bertelsen T., Floudas D., Bentzer J., Smits M., Johansson T., Troein C., Persson P., Tunlid A. The soil organic matter decomposition mechanisms in ectomycorrhizal fungi are tuned for liberating soil organic nitrogen // ISME Journal. – 2019. – Vol. 13. – P. 977–988.
48. Orwin K. H., Dickie I. A., Wood J. R., Bonner K. I., Holdaway R. J. Soil microbial community structure explains the resistance of respiration to a dry–rewet cycle, but not soil functioning under static conditions // Functional Ecology. – 2016. – Vol. 30. – P. 1430–1439.

49. Priyashantha A. K. H., Dai D. Q., Bhat D. J., Stephenson S. L., Promputtha I., Kaushik P., Tibpromma S., Karunarathna S. C. Plant–fungi interactions: where it goes? // Biology. – 2023. – Vol. 12. – Article 809.
50. Quoreshi A. M., Khasa D. P. Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on root colonization, growth, and nutrient uptake of aspen and balsam poplar // Biomass and Bioenergy. – 2008. – Vol. 32. – P. 381–391.
51. Rillig M. C., Aguilar-Trigueros C. A., Bergmann J., Verbruggen E., Veresoglou S. D., Lehmann A. Plant root and mycorrhizal fungal traits for understanding soil aggregation // New Phytologist. – 2015. – Vol. 205. – P. 1385–1398. – DOI:10.1111/nph.13045.
52. Rocha I., Ma Y., Souza-Alonso P., Vosatka M., Freitas H., Oliveira R. S. Seed coating: a tool for delivering beneficial microbes to agricultural crops // Frontiers in Plant Science. – 2019. – Vol. 10. – Article 1357.
53. Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal Symbiosis. – 3rd ed. – London : Academic Press, 2008.
54. Song Y. Y., Simard S. W., Carroll A., Mohn W. W., Zeng R. S. Defoliation of interior Douglas-fir elicits carbon transfer and stress signalling to ponderosa pine neighbors through ectomycorrhizal networks // Scientific Reports. – 2015. – Vol. 5. – P. 1–9.
55. Staddon P. L., Ramsey C. B., Ostle N., Ineson P., Fitter A. H. Rapid turnover of hyphae of mycorrhizal fungi determined by AMS microanalysis of 14C // Science. – 2003. – Vol. 300. – P. 1138–1140.
56. Tedersoo L., Smith M. E. Lineages of ectomycorrhizal fungi revisited: foraging strategies and novel lineages revealed by sequences from belowground // Fungal Biology Reviews. – 2013. – Vol. 27. – P. 83–99.
57. Teste F. P., Simard S. W. Mycorrhizal networks and distance from mature trees alter patterns of competition and facilitation in dry Douglas-fir forests // Oecologia. – 2008. – Vol. 158. – P. 193–203.
58. Torti S. D., Coley P. D., Kursar T. A. Causes and consequences of monodominance in tropical lowland forests // The American Naturalist. – 2001. – Vol. 157. – P. 141–153.
59. Van der Heijden M. G. A., Martin F. M., Selosse M. A., Sanders I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future // New Phytologist. – 2015. – Vol. 205. – P. 1406–1423.
60. Van der Heijden M. G. A., Streitwolf-Engel R., Riedl R., Siegrist S., Neudecker A., Ineichen K. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland // New Phytologist. – 2006. – Vol. 172. – P. 739–752.
61. Verbruggen E., Pena R., Fernandez C. W., Soong J. L. Mycorrhizal interactions with saprotrophs and impact on soil carbon storage // In: Mycorrhizal Mediation of Soil. – Elsevier, 2017. – P. 441–460.
62. Veresoglou S. D., Chen B. D., Rillig M. C. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling // Soil Biology and Biochemistry. – 2012. – Vol. 46. – P. 53–62.
63. Veresoglou S. D., Wulf M., Rillig M. C. Facilitation between woody and herbaceous plants that associate with arbuscular mycorrhizal fungi in temperate European forests // Ecology and Evolution. – 2017. – Vol. 7. – P. 1181–1189
64. Wallander H., Ekblad A. The importance of ectomycorrhizal networks for nutrient retention and carbon sequestration in forest ecosystems // In: Mycorrhizal Networks. – Springer, 2015. – P. 69–90.
65. Wang Q., Liu M., Wang Z., Li J., Liu K., Huang D. The role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in plant abiotic stress // Frontiers in Microbiology. – 2024. – Vol. 14. – Article 1323881.
66. Wezowicz K., Rozpadek P., Turnau K. Interactions of arbuscular mycorrhizal and endophytic fungi improve seedling survival and growth in post-mining waste // Mycorrhiza. – 2017. – Vol. 27. – P. 499–511.

67. Xu H., Shi Y., Chen C., Pang Z., Zhang G., Zhang W., Kan H. Arbuscular mycorrhizal fungi selectively promoted the growth of three ecological restoration plants // Plants. – 2024. – Vol. 13, № 12. – Article 1678.
68. Yin H., Wheeler E., Phillips R. Root-induced changes in nutrient in forest depend on exudation rates // Soil Biology and Biochemistry. – 2014. – Vol. 78. – P. 213–221.
69. Zhang L., Xu M., Liu Y., Zhang F. S., Hodge A., Feng G. Carbon and phosphorus exchange may enable cooperation between an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing bacterium // New Phytologist. – 2016. – Vol. 210. – P. 1022–1032.

References

1. Burtsev D. S. Foreign experience of artificial mycorrhization of seedlings of forest tree species with a closed root system // Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. – 2014. – № 1.

2. Eleusenova N. G., Selivanov I. A. Mycotrophy of plants in the flora of the northern deserts of Kazakhstan // Scientific Journal. Perm. pedagogical Institute. - 1973. – Vol. 112.

3. Iozus A. P., Zavyalov A. A., Boyko S. Yu. Features of the influence of mycorrhiza on the survival rate and biochemical composition of Scots pine seedlings in the dry steppe of the Lower Volga region // Successes of modern natural science. 2019. No. 6. pp. 23-27.

4. Kostychev P. A. Composition of soil organic substances in connection with the question of the usefulness of mycorrhizae // Proceedings of the St. Petersburg Society of Naturalists. – 1891. – Vol. 21.

5. Salyaev R. K. Roots in the bark // Nature : monthly popular natural science journal of the USSR Academy of Sciences. – 1961. – No. 2. – p. 38.

6. Averill C. Divergence in plant and microbial allocation strategies explains continental patterns in microbial allocation and biogeochemical fluxes // Ecology Letters. – 2014. – Vol. 17. – P. 1202–1210.

7. Averill C., Anthony M. A., Baldrian P., Finkbeiner F., van den Hoogen J., Kiers T., Kohout P., Hirt E., Smith G. R., Crowther T. W. Defending Earth's terrestrial microbiome // Nature Microbiology. – 2022. – Vol. 7. – P. 1717–1725.

8. Asmelash F., Bekele T., Birhane E. The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in the restoration of degraded lands // Frontiers in Microbiology. – 2016. – Vol. 7. – Article 1095.

9. Bhardwaj A. K., Chandra K. K., Kumar R. Mycorrhizal inoculation under water stress conditions and its influence on the benefit of host–microbe symbiosis of Terminalia arjuna species // Bulletin of the National Research Centre. – 2023. – Vol. 47. – P. 1–13.

10. Booth M. G. Mycorrhizal networks mediate overstorey–understorey competition in a temperate forest // Ecology Letters. – 2004. – Vol. 7. – P. 538–546.

11. Bonfante P., Genre A. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis // Nature Communications. – 2010. – Vol. 1. – Article 48.

12. Brundrett M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis // Plant and Soil. – 2009. – Vol. 320. – P. 37–77.

13. Bödeker I. T. M. Functional Ecology of Ectomycorrhizal Fungi : Doctoral Thesis. – Uppsala : Swedish University of Agricultural Sciences, 2012. – 36 p.

14. Cairney J. W. G., Meharg A. A. Interactions between ectomycorrhizal fungi and soil saprotrophs: implications for decomposition of organic matter in soils and degradation of organic pollutants in the rhizosphere // Canadian Journal of Botany – Revue Canadienne de Botanique. – 2002. – Vol. 80. – P. 803–809.

15. Carteron A., Vellend M., Laliberté E. Mycorrhizal dominance reduces local tree species diversity across US forests // Nature Ecology & Evolution. – 2022. – Vol. 6. – P. 370–374.

16. Chen J., Wang L., Liang X., Li B., He Y., Zhan F. An arbuscular mycorrhizal fungus differentially regulates root traits and cadmium uptake in two maize varieties // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2023. – Vol. 264. – Article 115458.

17. Chandra K. K., Kumar R. Forestry Practicals. – Jodhpur : Scientific Publisher, 2023.
18. Dickie I. A., Montgomery R. A., Reich P. B., Schnitzer S. A. Physiological and phenological responses of oak seedlings to oak forest soil in the absence of trees // Tree Physiology. – 2007. – Vol. 27. – P. 133–140.
19. Ding Q., Liang Y., Legendre P., He X., Pei K., Du X., Ma K. Diversity and composition of ectomycorrhizal community on seedling roots: the role of host preference and soil origin // Mycorrhiza. – 2011. – Vol. 21. – P. 669–680.
20. Deng C., Zou Y. N., Hashem A., Kuca K., Abd-Allah E. F., Wu Q. S. The visualized knowledge map and hot topic analysis of glomalin-related soil proteins in the carbon field based on Citespace // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. – 2023. – Vol. 10. – Article 48.
21. Faghihinia M., Jansa J., Halverson L. J., Staddon P. L. Hyphosphere microbiome of arbuscular mycorrhizal fungi: a realm of unknowns // Biology and Fertility of Soils. – 2023. – Vol. 59. – P. 17–34.
22. Fini A., Frangi P., Amoroso G., Piatti R., Faoro M., Bellasio C., Ferrini F. Effect of controlled inoculation with specific mycorrhizal fungi from the urban environment on growth and physiology of containerized shade tree species growing under different water regimes // Mycorrhiza. – 2011. – Vol. 21. – P. 703–719.
23. Francis M. Martin, Stéphane Uroz, David G. Barker. Ancestral alliances: Plant mutualistic symbioses with fungi and bacteria // Science. – 2017. – Vol. 356. – P. 819.
24. Gardner T. G., Frene J. P., Lawson S. S., Lue Sue N. D., Handy J., Crawford R. H. The impact of tree species on microbial community structure and soil function on forest plantations in the Central Hardwoods Region (CHR) // Forests. – 2023. – Vol. 14. – Article 859.
25. Gao Q., Yang Z. L. Ectomycorrhizal fungi associated with two species of Kobresia in an alpine meadow in the eastern Himalaya // Mycorrhiza. – 2010. – Vol. 20, № 4. – P. 281–287.
26. Giovannetti M., Tolosano M., Volpe V., Kopriva S., Bonfante P. Identification and functional characterization of a sulfate transporter induced by both sulfur starvation and mycorrhiza formation in Lotus japonicus // New Phytologist. – 2014. – Vol. 204. – P. 609–619.
27. Goebel M., Hobbie S. E., Bulaj B., Zadworny M., Archibald D. D., Oleksyn J., Reich P. B., Eissenstat D. M. Decomposition of the finest root branching orders: linking belowground dynamics to fine-root function and structure // Ecological Monographs. – 2011. – Vol. 81, № 1. – P. 89–102.
28. Grover M., Ali S. Z., Sandhya V., Rasul A., Venkateswarlu B. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2011. – Vol. 27. – P. 1231–1240.
29. Guy P., Richard S., Simon M. S., Tibbett M., Pickles B. J. Mycorrhizal type of woody plants influences understory species richness in British broadleaved woodlands // New Phytologist. – 2022.
30. Hart M. M., Antunes P. M., Chaudhary V. B., Abbott L. K. Fungal inoculants in the field: is the reward greater than the risk? // Functional Ecology. – 2018. – Vol. 32. – P. 126–135.
31. Haskins K. E., Gehring C. A. Evidence for mutualist limitation: the impacts of conspecific density on the mycorrhizal inoculum potential of woodland soils // Oecologia. – 2005. – Vol. 145. – P. 123–131.
32. Hawkins H. J., Cargill R. I., Van Nuland M. E., Hagen S. C., Field K. J., Sheldrake M., Soudzilovskaia N. A., Kiers E. T. Mycorrhizal mycelium as a global carbon pool // Current Biology. – 2023. – Vol. 33. – P. R560–R573.
33. Hobbie S. E., Reich P. B., Oleksyn J., Ogdahl M., Zytkowiak R., et al. Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden // Ecology. – 2006. – Vol. 87. – P. 2288–2297.
34. Högberg H. T., Sobanski T., Novellino A., Whelan M., Weiss D. G., Bal-Price A. K. Application of microelectrode arrays (MEAs) as an emerging technology for developmental neurotoxicity: evaluation of domoic acid-induced effects in primary cultures of rat cortical neurons // Neurotoxicology. – 2010.

35. Hoeksema J. D., Bever J. D., Chakraborty S., Chaudhary V. B., Gardes M., Gehring C. A., Hart M. M., Housworth E. A., Kaonongbua W., Klironomos J. N. Evolutionary history of plant hosts and fungal symbionts predicts the strength of mycorrhizal mutualism // Communications Biology. – 2018. – Vol. 1. – P. 1–10.

36. Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A., Kopriva S. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition – Current knowledge and future directions // Frontiers in Plant Science. – 2017. – Vol. 8. – Article 1617.

37. Leake J., Johnson D., Donnelly D., Muckle G., Boddy L., Read D. Erratum: Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning // Canadian Journal of Botany. – 2004. – Vol. 82. – P. 1016–1045.

38. Leski T., Aučina A., Skridaila A. Ectomycorrhizal community structure of different genotypes of Scots pine under forest nursery conditions // Mycorrhiza. – 2010. – Vol. 20. – P. 473–481.

39. Lu N., Zhou X., Cui M., Yu M., Zhou J. X., Qin Y. S., Li Y. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi promotes the growth of Morus alba L. seedlings under greenhouse conditions // Forests. – 2015. – Vol. 6. – P. 734–747.

40. Lu N., Yu M., Cui M., Luo Z., Feng Y., Cao S., Sun Y., Li Y. Effects of different ectomycorrhizal fungal inoculates on the growth of Pinus tabulaeformis seedlings under greenhouse conditions // Forests. – 2016. – Vol. 7. – Article 316.

41. Luo S., Phillips R. P., Jo I., Fei S., Liang J., Schmid B., Eisenhauer N. Higher productivity in forests with mixed mycorrhizal strategies // Nature Communications. – 2023. – Vol. 14. – Article 1377.

42. Ma X. C., Geng Q. H., Zhang H. G., Bian C. Y., Chen H. Y. H., Jiang D. L., Xu X. Global negative effects of nutrient enrichment on arbuscular mycorrhizal fungi, plant diversity and ecosystem multifunctionality // New Phytologist. – 2021. – Vol. 229. – P. 2957–2969.

43. Martin Francis M., Uroz Stéphane, Barker David G. Ancestral alliances: Plant mutualistic symbioses with fungi and bacteria // Science. – 2017. - Vol. 356. - Article 819.

44. Marx D. H., Marrs L. F., Cordell C. E. Practical use of the mycorrhizal fungal technology in forestry, reclamation, arboriculture, agriculture, and horticulture // Dendrobiology. – 2002. – Vol. 47. – P. 27–40.

45. Meddad-Hamza A., Beddiar A., Gollotte A., Lemoine M. C., Kuszala C., Gianinazzi S. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth of olive trees and their resistance to transplantation stress // African Journal of Biotechnology. – 2010. – Vol. 9. – P. 1159–1167.

46. Miller R. M., Wilson G. W. T., Johnson N. C. Arbuscular mycorrhizae and grassland ecosystems // In: Southworth D. (ed.) Biocomplexity of Plant–Fungal Interactions. – Wiley, 2012. – P. 59–84.

47. Nicolas C., Martin-Bertelsen T., Floudas D., Bentzer J., Smits M., Johansson T., Troein C., Persson P., Tunlid A. The soil organic matter decomposition mechanisms in ectomycorrhizal fungi are tuned for liberating soil organic nitrogen // ISME Journal. – 2019. – Vol. 13. – P. 977–988.

48. Orwin K. H., Dickie I. A., Wood J. R., Bonner K. I., Holdaway R. J. Soil microbial community structure explains the resistance of respiration to a dry–rewet cycle, but not soil functioning under static conditions // Functional Ecology. – 2016. – Vol. 30. – P. 1430–1439.

49. Priyashantha A. K. H., Dai D. Q., Bhat D. J., Stephenson S. L., Promputtha I., Kaushik P., Tibpromma S., Karunarathna S. C. Plant–fungi interactions: where it goes? // Biology. – 2023. – Vol. 12. – Article 809.

50. Quoreshi A. M., Khasa D. P. Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on root colonization, growth, and nutrient uptake of aspen and balsam poplar // Biomass and Bioenergy. – 2008. – Vol. 32. – P. 381–391.

51. Rillig M. C., Aguilar-Trigueros C. A., Bergmann J., Verbruggen E., Veresoglou S. D., Lehmann A. Plant root and mycorrhizal fungal traits for understanding soil aggregation // New Phytologist. – 2015. – Vol. 205. – P. 1385–1398. – DOI:10.1111/nph.13045.

52. Rocha I., Ma Y., Souza-Alonso P., Vosatka M., Freitas H., Oliveira R. S. Seed coating: a tool for delivering beneficial microbes to agricultural crops // Frontiers in Plant Science. – 2019. – Vol. 10. – Article 1357.

53. Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal Symbiosis. – 3rd ed. – London : Academic Press, 2008.

54. Song Y. Y., Simard S. W., Carroll A., Mohn W. W., Zeng R. S. Defoliation of interior Douglas-fir elicits carbon transfer and stress signalling to ponderosa pine neighbors through ectomycorrhizal networks // Scientific Reports. – 2015. – Vol. 5. – P. 1–9.

55. Staddon P. L., Ramsey C. B., Ostle N., Ineson P., Fitter A. H. Rapid turnover of hyphae of mycorrhizal fungi determined by AMS microanalysis of 14C // Science. – 2003. – Vol. 300. – P. 1138–1140.

56. Tedersoo L., Smith M. E. Lineages of ectomycorrhizal fungi revisited: foraging strategies and novel lineages revealed by sequences from belowground // Fungal Biology Reviews. – 2013. – Vol. 27. – P. 83–99.

57. Teste F. P., Simard S. W. Mycorrhizal networks and distance from mature trees alter patterns of competition and facilitation in dry Douglas-fir forests // Oecologia. – 2008. – Vol. 158. – P. 193–203.

58. Torti S. D., Coley P. D., Kursar T. A. Causes and consequences of monodominance in tropical lowland forests // The American Naturalist. – 2001. – Vol. 157. – P. 141–153.

59. Van der Heijden M. G. A., Martin F. M., Selosse M. A., Sanders I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future // New Phytologist. – 2015. – Vol. 205. – P. 1406–1423.

60. Van der Heijden M. G. A., Streitwolf-Engel R., Riedl R., Siegrist S., Neudecker A., Ineichen K. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland // New Phytologist. – 2006. – Vol. 172. – P. 739–752.

61. Verbruggen E., Pena R., Fernandez C. W., Soong J. L. Mycorrhizal interactions with saprotrophs and impact on soil carbon storage // In: Mycorrhizal Mediation of Soil. – Elsevier, 2017. – P. 441–460.

62. Veresoglou S. D., Chen B. D., Rillig M. C. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling // Soil Biology and Biochemistry. – 2012. – Vol. 46. – P. 53–62.

63. Veresoglou S. D., Wulf M., Rillig M. C. Facilitation between woody and herbaceous plants that associate with arbuscular mycorrhizal fungi in temperate European forests // Ecology and Evolution. – 2017. – Vol. 7. – P. 1181–1189

64. Wallander H., Ekblad A. The importance of ectomycorrhizal networks for nutrient retention and carbon sequestration in forest ecosystems // In: Mycorrhizal Networks. – Springer, 2015. – P. 69–90.

65. Wang Q., Liu M., Wang Z., Li J., Liu K., Huang D. The role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in plant abiotic stress // Frontiers in Microbiology. – 2024. – Vol. 14. – Article 1323881.

66. Wezowicz K., Rozpadek P., Turnau K. Interactions of arbuscular mycorrhizal and endophytic fungi improve seedling survival and growth in post-mining waste // Mycorrhiza. – 2017. – Vol. 27. – P. 499–511.

67. Xu H., Shi Y., Chen C., Pang Z., Zhang G., Zhang W., Kan H. Arbuscular mycorrhizal fungi selectively promoted the growth of three ecological restoration plants // Plants. – 2024. – Vol. 13, № 12. – Article 1678.

68. Yin H., Wheeler E., Phillips R. Root-induced changes in nutrient in forest depend on exudation rates // Soil Biology and Biochemistry. – 2014. – Vol. 78. – P. 213–221.

69. Zhang L., Xu M., Liu Y., Zhang F. S., Hodge A., Feng G. Carbon and phosphorus exchange may enable cooperation between an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing bacterium // New Phytologist. – 2016. – Vol. 210. – P. 1022–1032.

СЕКЦИЯ 2. УСТОЙЧИВОЕ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЕ. ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

DOI: 10.58168/Forestry2025_191-198
УДК 630 114.1:574.4

КЛЮЧЕВЫЕ БИОТОПЫ В СОХРАНЕНИИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ТЕРРИТИРОРИИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.В. Аверина, Ф.Н. Дружинин

аспирант кафедры лесного хозяйства
д-р с.-х. наук, заведующий кафедрой лесного хозяйства
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина», г. Вологда, Россия

Аннотация:
Статья посвящена исследованию вопросов сохранения биологического разнообразия в лесных экосистемах Вологодской области. В работе рассмотрены основные этапы по выделению ключевых биотопов и ценных деревьев в процессе лесозаготовительной деятельности, подтвержденные практическим опытом предприятий Вологодской области

Ключевые слова: биологическое разнообразие, заготовка древесины, лесные экосистемы, ключевой биотоп, объекты, оценка.

KEY BIOTOPES IN BIODIVERSITY CONSERVATION ON THE TERRITORY OF THE VOLOGDA REGION

V.V. Averina, F.N. Druzhinin

Postgraduate student of the Forestry Department
Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Forestry Department
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin", Vologda, Russia

Abstract:
The article is devoted to the study of the conservation of biological diversity in the forest ecosystems of the Vologda region. The paper considers the main stages of identifying key biotopes and valuable trees in the process of logging, confirmed by the practical experience of enterprises in the Vologda region.

Keywords: biological diversity, timber harvesting, forest ecosystems, key biotope, facilities, assessment.

Лесные экосистемы характеризуются одним из наиболее высоких уровней биологического разнообразия. Обусловлено это сложной структурой и видовым разнообразием лесообразующих пород, различной вариативностью пространственного и возрастного распределения, а также условиям произрастания, зависящих от различных факторов (климатических, орографические, эдафических, биотических и антропогенные).

© Аверина В. В., Дружинин Ф. Н., 2025

Устойчивое управление лесами должно базироваться, в том числе, на принципах сохранения элементов биологического разнообразия в рамках ведения лесохозяйственной деятельности [1].

Термин, «биоразнообразие» который занимает ключевое место в экологической науке, впервые получил широкое распространение на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде в 1972 году. В рамках конференции до политических лидеров донесена её критическую значимость в поддержании экосистемных функций и обеспечении устойчивости природных процессов. В 1992 году в Рио-де-Жанейро в рамках Конференции ООН по окружающей среде принята Конвенция о биологическом разнообразии. Активная её реализация в России началась после ее ратификации Государственной Думой в 1995 году. Этот документ послужил основой для разработки и проведения различных природоохранных мероприятий, направленных на сохранение многообразия видов растений, животных и мест их обитания. На федеральном уровне принят ряд природоохранительных законов, а в 1996 году Указом Президента РФ утверждена «Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», в которой в качестве одного из важнейших направлений развития России рассматривается сохранение биоразнообразия [2].

Законодательной основой для её реализации служат следующие федеральные законы: ««Об охране окружающей природной среды», «Об особо охраняемых природных территориях», «О животном мире», «О Красной Книге Российской Федерации», «Экологическая доктрина Российской Федерации», а также ряд нормативно-правовых актов [3, 4, 5], где провозглашается необходимость сохранения биоразнообразия, естественных экологических систем, природных ландшафтов и природных комплексов, устойчивого управления лесами, повышения их потенциала [6].

Управление лесами в Российской Федерации направлено на организацию рационального и неистощительного использования лесных ресурсов, мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов. Данный подход осуществляется на принципах устойчивого лесопользования и сохранения биоразнообразия лесных экосистем, повышения экологической значимости и продуктивности лесов, удовлетворения общественных нужд в лесных ресурсах на основе научно обоснованного многоцелевого использования.

Современная российская система планирования и ведения лесозаготовок и лесного хозяйства, в целом, обеспечивает (создает условия) сохранение значительной части биоразнообразия лесов на исключаемых из промышленных лесозаготовок территорий, путем разделения лесов на различные категории защитности, выделения особо защитных участков леса, выявления и создания различных особо охраняемых природных территорий.

Площадь защитных лесов Вологодской области составляет 1832,1 тыс. га (16% от общей площади лесного фонда). В их составе включены следующие категории защитности:

1. Леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях – 116,6 тыс. га;

2. Леса, расположенные в водоохранных зонах – 165,3 тыс. га;

3. Леса, выполняющие функции защиты природных и иных объектов, – 355,0 тыс. га, в том числе:

- леса, расположенные в первом и втором поясах зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственнобытового водоснабжения – 6,6 тыс. га;
- леса, расположенные в защитных полосах лесов – 146,8 тыс. га;
- леса, расположенные в зеленых зонах – 186,0 тыс. га;
- леса, расположенные в лесопарковых зонах – 15,3 тыс. га;
- горно-санитарные леса – 0,3 тыс. га;

4. Ценные леса, всего – 1046,8 тыс. га; в том числе:

- леса, имеющие научное или историко-культурное значение – 72,1 тыс. га;
- запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов – 745,2 тыс. га;
- нерестоохранные полосы лесов – 229,5 тыс. га..

Эти лесные экосистемы представляют особый интерес, так как играют ключевую роль в поддержании биологического разнообразия, обеспечивая пространство для размножения и миграции, оказывая непосредственное влияние на целостность и экологический баланс

территорий. Выделение таких участков способствует сохранению биологического разнообразия на уровне ландшафтов и сообществ. Однако стоит отметить, что многочисленные виды растений и животных, в том числе занесенные в Красную книгу, распространены и на лесных участках, вовлечённых в лесохозяйственную деятельность.

Доля лесов Вологодской области предназначенных для хозяйственного использования составляет 84% от общей площади лесного фонда. Основным показателем, характеризующим интенсивность их использования, является расчетная лесосека. Согласно отчетной документации, представленной на официальном сайте Министерством лесного комплекса Вологодской области, расчетный объем возможного изъятия древесины за 2024 год составляла 28777,9 тыс. м^3. Фактически заготовлено древесины– 15157,4 тыс. м^3 или 53 % от расчетной лесосеки. Что позволяет характеризовать интенсивность использования лесов выше среднего. Такой показатель может негативно влиять на сохранение биологического разнообразия лесов. Это связано с тем, что сплошные рубки разрушают естественную структуру и усложняют условия местообитания для многих видов растительного и животного мира.

Сохранению биоразнообразия способствует внедрение процесса добровольной лесной сертификации, который требует от лесозаготовительных компаний практических шагов по реализации. Здесь возможны следующие варианты: сохранение структур, важных для многих видов животных и растений (ненарушенная почва, определенные виды деревьев, мертвая древесина), имитация естественных лесных процессов при сырьевом лесопользовании, полный запрет рубок в наиболее экологически ценных лесах.

При производстве лесосечных работ с учетом требований по соблюдению международных природоохранных соглашений о сохранении биологического разнообразия лесных экосистем, лесозаготовительные предприятия выделяют и выводят из хозяйственной деятельности участки, имеющие высокую природоохранную ценность, так называемые ключевые биотопы и элементы, включающие в себя места произрастания редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений и грибов; места обитания редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных; заболоченные участки леса в бессточных или слабопроточных понижениях; участки леса на окраинах болот, небольшие островки леса среди болот; участки леса вблизи временных водотоков и иных водных объектов; крупные валуны и каменные глыбы; карстовые явления; естественные солонцы; окна распада со скоплениями валежа и ветровально-почвенными комплексами; сухостой, высокие пни, единичный крупный валеж; деревья с дуплами; старовозрастные деревья и их группы; деревья и кустарники редких пород и их группы; редкие сообщества и местообитания; места зимовок медведей; многолетние норы и убежища крупных хищников; места токования птиц; деревья с большими гнездами; крупные муравейники; места концентрации копытных в зимний период; объекты, имеющие культурно-историческое значение.

На территории Вологодской области в ходе проработки публичных отчетов, размещенных на официальных сайтах ведущих лесозаготовительных компаний региона, и технической документации (технологические карты) нами выделены наиболее часто сохраняемые ключевые биотопы и элементы. Согласно региональным рекомендациям [7] и отраслевой документации [8] из 21 объекта биологического разнообразия, согласно технологических карт, отмечены следующие объекты (таблица.1).

Эти природные объекты, обладающие высокой природоохранной ценностью, а также отдельные ценные деревья, оставляемые в целях поддержания биологического разнообразия, часто служат местообитанием для представителей видов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации или в красные книги субъектов Российской Федерации. Объекты биоразнообразия, подлежащие сохранению, согласно приказа от 17.10.2022 № 688 «Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек и о внесении изменений в Правила заготовки древесины и особенности заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации, утвержденные приказом Минприроды России от 1 декабря 2020 г. N 993), в эксплуатационную площадь лесосеки не включаются (п.17).

При отводе лесосек они обозначаются различными отметками, а в технологической

карте (раздел 4) выделяется неэксплуатационные площади (НЭ), а единичные объекты (разделе 6) – в количественном выражении. Допускается также выделение таких участков непосредственно во время производства основных лесосечных работ, в том случае если они не были выделены при отводе. При этом в технологическую карту вносятся изменения.

Таблица 1 – Объекты биоразнообразия, наиболее представленные на территории Вологодской области.

№ п/п	Биотоп	Признаки объекта	Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды, обитающие на данных участках,
Участки сохранения растительного мира			
1	Старовозрастные деревья и их группы	Крупные старовозрастные деревья хвойных и лиственных пород (с развитой кроной, в том числе многовершинные, с пожарными подсушками). Наличие грубой трещиноватой коры, наличие на стволе деревьев лишайников, мхов и плодовых тел грибов, редкая форма кроны	*Растения:* Башмачок настоящий; Надбородник безлистный; Мякотница однолистная; Бузульник сибирский; *Лишайники*: Лобария легочная; Алектория флагоносная; Рамалина верхушечная и рамалина мучнистая; *Животные*: Беркут; Дербник; Скопа; Сорокопут серый; Большой подорлик; Филин; Черный коршун; Длиннохвостая неясыть, бородатая неясыть; Рогачик скромный; Рогачик жужелицевидный
2	Деревья и кустарники редких пород и их группы	Деревья и кустарники пород, заготовка древесины которых не допускается, иные породы, редкие в данной местности или находящиеся на границе естественного ареала распространения. Наличие на участке деревьев редких видов следующих ценных древесных пород: лиственница, пихта, вяз, ольха чёрная, липа, ясень, дуб	Вяз гладкий и вяз шершавый; Липа сердцелистная; Ольха чёрная; Лиственница сибирская; Сосна сибирская (или кедровая сосна); Пихта сибирская; Можжевельник обыкновенный;
Участки сохранения животного мира			
3	Многолетние норы и убежища крупных хищников	Участки, где располагаются многолетние норы лисы, убежища росомахи и других крупных хищников	Енотовидная собака; Барсук; Росомаха; Рысь.

4	Места токования птиц	места токования птиц, в том числе глухаря, тетерева, журовля, дупеля. Открытые или малозаросшие деревьями и кустарниками моховое болота, поля и опушки лесов со скоплениями птиц в период их токования	
Участки с наличием природных объектов, имеющих природоохранное значение			
	Окна распада со скоплениями валежа и ветровально-почвенными комплексами,	Участки леса со скоплением крупномерного валєжа (диаметром от 20 см.) на разных стадиях разложения и ветровально-почвенными комплексами, образовавшимися в результате вывала крупных деревьев При выборе объектов для сохранения приоритет отдается участкам, располагающимся на склонах, а так же имеющим своем составе группы благонацежного подроста	*Растения*: Надбородник безлистный; Пальчатокоренник Траунштейнера; Ладьян трёхнадрезанный; Мякотница однолистная; Бузульник сибирский. *Лишайники*: Алектория флагоносная; Мультиклавула слизистая. *Грибы*: Ежовик коралловидный; Ложноберёзовый трутовик. *Животные*: Длиннохвостая неясыть; Бородатая неясыть; Мохнорогий сыч; Воробьиный сыч; Ночница Брандта; Гребенчатый тритон.
	Заболоченные участки леса в бесточных или слабопроточных понижениях	Небольшие участки леса на заболоченных и постоянно переувлажненных почвах, включая переходную зону к дренированной части водосборного бассейна. Данные участки занимают локальные понижения в рельефе и характеризуются избыточным увлажнением почв, угнетенным древостоем.	*Растения*: Щитовник гребенчатый *Мхи*: Сплахнум бутылковидный; жёлтый; красный; сосудистый; сферический; Сэлания сизовая; Тетраплодон мниевидный; суженный *Лишайники*: Лобария легочная *Грибы*: Ежовик коралловидный *Животные*: Гребенчатый тритон; Сибирский углозуб
5	Участки леса на окраинах болот, небольшие островки леса среди болот	Участки леса на окраинах болот, небольшие острова леса среди болот, Граница окра 4ны болота опредиляется естествен чым контуром ландшафта (визуально различимое повышение уровня почвы со сменой типа лесорастительных условий) или в случае достижен ия древостоем запаса более 50 м3/га (при отсутствии четко различимой границы перехода)	*Растения:* Башмачок настоящий; Тайник сердцевидный; Мытник скипетровидный; Страусник обыкновенный; Осока просяная и ложносытевая; Узконадкрыл гладкий; Жужелица Менетрие. *Мхи*: Сплахнум бутылковидный; желтый; красный; сферический; сосудистовидный; Тетраплодон суженный; мниевидный. *Лишайники*: Алектория флагоносная; Мультиклавула слизистая; Рамалина верхушечная и мучнистая.

6	Участки леса вблизи временных водотоков и иных водных объектов	Участки леса вдоль постоянных водотоков, включая затапляемые части речных пойм, а так же временных водотсков (оврагов, балок, ложбин, логов), движение воды в которых происходит меньшую часть года, а так же вдоль побережья небольших лесных озер, водоохранная зона для которых не установлена. Наличие сформированного русла у постоянного или временного водотока, в том числе различимая граница поймы. Наличие сформированного ложа (чаши) у небольших лесных озер	*Грибы*: Ежовик коралловидный; Ложноберёзовый трутовик. *Животные*: Дербник; Скопа; Сорокопут серый (Lanius excubitor); Сапсан; Беркут; Длиннохвостая неясыть Бородатая неясыть.

Для повышения эффективности этих мер, в процессе разработки лесосек, кроме натурного выделения производят предварительный осмотр, результаты которого заносятся в лист наблюдения состояния ключевого биотопа. При этом отражают их наличие и состояние указывают площадные и качественные характеристики. Далее организуются и должны выполнятся мониториноговые наблюдения, которые совмещаются со сроками проводимых мероприятий по лесовосстановлению, агротехническим и лесоводственным уходам до перевода лесосек в покрытые лесом площади. Результаты мониторинговых наблюдений позволяют выявить изменения состояния объектов, дать оценку, сделать прогноз и разработать рекомендации по предупреждению и устранению последствий негативного хозяйственного воздействия.

Соблюдение экологических норм является важной частью ведения бизнеса современными предприятиями. Это означает, что предприятия определяют, какого рода воздействие на окружающую среду они оказывают и ведут свою деятельность таким образом, чтобы заранее свести это воздействие на окружающую среду к минимуму.

Таким образом, эффективное управление лесными ресурсами предполагает обязательное соблюдение принципов сохранения биологического разнообразия, закрепленных международными соглашениями и отечественным законодательством. Комплекс мер включает сохранение уникальных природных территорий и отдельных ценных компонентов лесной экосистемы, таких как старовозрастные деревья, редкие и исчезающие виды растений и животных.

Список литературы

1. Дружинин, Ф. Н. Оценка сохранности и устойчивости ключевых биотопов после заготовки древесины / Ф. Н. Дружинин, В. В. Аверина // Оптимизация лесопользования: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию Почетного работника высшего образования, Заслуженного лесовода России Залесова Сергея Вениаминовича, Екатеринбург, 26–27 октября 2023 года. – Екатеринбург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный лесотехнический университет", 2023. – С. 116-120.

2. Ковалев Ю. Ю. Международная политика защиты и использования мирового биологического разнообразия: цели, этапы развития, проблемы реализации / Ю. Ю. Ковалев, А. В. Степанов, А. С. Бурнасов // Известия Уральского федерального университета. Серия 3: Общественные науки. 2019. Т. 14, № 4 (194). С. 119-133.

3. Лесной кодекс РФ : Федеральный закон от 04 декабря 2006 № 200-ФЗ: измен. и доп. 29.12.2022: (принят ГД ФС РФ 08.11.2006) // КонсультантПлюс: офиц. сайт / Компания

«КонсультантПлюс». – Электрон. справ. правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 02.08.2025)

4. Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 01.12.2020 г. № 993: зарегистрирован в Минюсте России 18.12.2020 № 61553. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012180025 /(дата обращения 02.08.2025).

5. Об утверждении лесного плана Вологодской области / утвержден распоряжением Губернатора Вологодской области от 30.11.2018 № 4807-р. – Вологда, 2018 – 211 с. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://dlk.gov35.ru/upload/iblock/f2d/Распоряжение%20Губернатора%20ВО%2 0№%204807-р%20от%2030.11.2018%20Об%20утверждении%20лесного%20плана%20Вол огодской%20области%20(36880646%20v6).PDF, свободный (дата обращения: 02.08.2025). – Загл. с экрана.

6. Нормативно-правовая основа сохранения биоразнообразия при заготовках древесины и рекомендации по ее применению / О. Ильина, М. Карпачевский, Т. Яницкая. Всемирный фонд дикой природы (WWF). — М., 2009. — 36 с.

7. Дружинин Ф.Н. Практическое руководство по организации, технологии и оценке качества лесосечных работ при заготовке древесины в 2 томах. Т. 1. / Федеральное агентство лесного хозяйства РФ, Департамент лесного комплекса ВО. Ф.Н. Дружинин, Н.А. Дружинин, Кашурина Я.В. и др. – Издание 2-е, доп. Вологда: Полиграф: Периодика, 2022. – 115 с.

8. Методические рекомендации по сохранению биологического разнообразия при заготовке древесины в Вологодской области. Вологда, 2014. 18 с.

References

1. Druzhinin, F. N. Assessment of the safety and sustainability of key biotopes after logging / F. N. Druzhinin, V. V. Averina // Optimization of forest management : Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation dedicated to the 70th anniversary of the Honorary Worker of Higher Education, Honored Forester of Russia Zalesov Sergey Veniaminovich, Yekaterinburg, October 26-27, 2023. Yekaterinburg: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Ural State Forestry University, 2023. pp. 116-120.

2. Kovalev Yu. Y. International policy for the protection and use of world biological diversity: goals, stages of development, problems of implementation / Yu. Y. Kovalev, A.V. Stepanov, A. S. Burnasov // Izvestia Ural Federal University. Series 3: Social Sciences. 2019. Vol. 14, No. 4 (194). pp. 119-133. 3. The Forest Code of the Russian Federation : Federal Law No. 200—FZ of December 04, 2006: amendments. and an addendum dated 12/29/2022: (adopted by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation on 11/08/2006) // ConsultantPlus: official. website / Company "ConsultantPlus". – The electron. help. the legal system. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299 / (date of access: 02/08/2025)

4. On approval of the Rules for harvesting wood and the specifics of harvesting wood in forestry areas specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation: Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated 12/01/2020 No. 993: registered with the Ministry of Justice of Russia on 12/18/2020 No. 61553. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012180025 /(accessed 02/08/2025).

5. On approval of the Vologda Region forest plan [Electronic resource] / approved by the Order of the Governor of the Vologda region dated November 30, 2018 No. 4807- Vologda, 2018 – 211 p. – Electronic data. – Access mode: https://dlk.gov35.ru/upload/iblock/f2d/Распоряжение%20Губернатора%20ВО%2 0 No.%204807-r%20ot%2030.11.2018%20Ob%20The approval of%20forested%20plan%20The Ogod region%20(36880646%20v6).PDF, free (accessed: 02/08/2025). – Caption from the screen.

6. O. Ilyina, M. Karpachevsky, T. Yanitskaya, The regulatory and legal basis for the conservation of biodiversity in timber harvesting and recommendations for its use. The World Wildlife Fund (WWF). Moscow, 2009. 36 p.

7. Druzhinin F.N. Practical guide to the organization, technology and quality assessment of logging operations in 2 volumes. Vol. 1. / Federal Forestry Agency of the Russian Federation, Department of the Forestry Complex of the Russian Federation. F.N. Druzhinin, N.A. Druzhinin, Kashurina Ya.V. et al. – 2nd edition, add Vologda: Polygraph: Periodicals, 2022. 115 p.

8. Methodological recommendations for the conservation of biological diversity in timber harvesting in the Vologda region. Vologda, 2014. 18 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_199-206
УДК 630 386.1

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ МИРОВОЙ И РОССИЙСКОЙ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ

Н.А. Азарова
Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

SPIN-код: 8450-8957; ORCID: 0000-0001-8244-8922; ID РИНЦ: 583069; Scopus Author ID: 56554060000

Аннотация

Меняющийся глобальный геополитический и экономический ландшафт порождает в лесном секторе глобальный экономический сдвиг, обусловленный инновационными цифровыми технологиями, которые оказывают интенсивное влияние на методы обеспечения деятельности лесной отрасли, обеспечивают модификацию цепочек создания добавленной стоимости и переосмысливают производственные процессы заготовки, доставки древесины, а также использования лесных угодий. В условиях изменения климата, нехватки ресурсов и демографических сдвигов, такие технологические решения, как искусственный интеллект, прецизионное земледелие и анализ больших данных, превращаются из дополнительных инструментов в ключевые элементы, необходимые для обеспечения стабильности, продуктивности и устойчивости развития лесной отрасли на мировом и российском рынке.

Российские и зарубежные ученые, а также государственные органы власти активно продвигают цифровую трансформацию в лесной отрасли через разнообразные инициативы и технологические инструменты, а также поддерживают инновации в этой области, основой которой будут являться развитие возможностей использования новых технологий, в частности искусственного интеллекта и цифровых инструментов, в том числе беспилотных летательных систем и ГИС-технологий, в целях создания эффективных и климатически устойчивых лесных био- и экосистем.

Ключевые слова: лесной комплекс, инновации, инструменты цифровизации, лесные био- и экосистемы.

PROSPECTS FOR DIGITALIZATION DEVELOPMENT IN THE GLOBAL AND RUSSIAN FORESTRY SECTOR

N.A. Azarova

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract

The changing global geopolitical and economic landscape is generating a global economic shift in the forestry sector, driven by innovative digital technologies. These technologies are intensely influencing the methods of supporting forestry operations, modifying value-added chains, and rethinking production processes for timber harvesting, delivery, and the use of forest lands. In the context of climate change, resource scarcity, and demographic shifts, technological solutions such as artificial intelligence, precision forestry, and big data analytics are transforming from supplementary tools into key elements necessary for ensuring the stability, productivity, and sustainable development of the forestry sector in the global and Russian markets.

© Азарова Н. А., 2025

Russian and foreign scientists, as well as state authorities, are actively promoting digital transformation in the forestry sector through diverse initiatives and technological tools, and are supporting innovations in this field. The foundation of this transformation will be the development of capabilities for using new technologies, particularly artificial intelligence and digital tools, including unmanned aerial systems and GIS technologies, to create efficient and climate-resilient forest bio- and ecosystems.

Keywords: forestry sector, innovations, digitalization tools, forest bio- and ecosystems.

Вступление

Лесопромышленный комплекс играет ключевую роль в поддержании экологического равновесия планеты и развитии мировой экономики. Исторически сложилось мнение, что это отрасль с невысоким уровнем технологического оснащения и ограниченной рентабельностью, в значительной степени зависящая от ручного труда, однако в связи с ограниченностью ресурсов и тенденцией к климатическим изменениям в мире для многих направлений лесоводства перспективы стратегического развития имеют благоприятную направленность. Этот аспект, в сочетании со стремлением к увеличению экономической продуктивности, служит стимулом для существенной модернизации лесной отрасли посредством внедрения цифровых инструментов в последние годы. Данные экономические процессы называют цифровой трансформацией лесного сектора и включают в себя разнообразные технологические решения, коренным образом изменяющие подходы к управлению, контролю и эксплуатации лесных ресурсов.

В лесном секторе критически важным является обеспечение защиты лесных территорий от огня, и здесь ключевую роль играет цифровая платформа Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (далее ФГИС ЛК). Одним из важнейших механизмов являются консолидированные планы по ликвидации лесных возгораний, создаваемые в каждом лесном участке. Эти документы содержат полный список технических средств и оборудования, предназначенных для использования при тушении.

Еще одной значимой задачей ФГИС ЛК является аккумулирование и обработка статистических данных. Эта платформа, функционирующая как цифровое отражение леса, содержит сведения о видовом составе, объемах древесных ресурсов и параметрах лесных зон. Также в системе регистрируются последствия пожаров.

Начиная с 2025 года в ФГИС ЛК была внедрена система сбора данных о геолокации лесотранспортных средств и специализированной техники для борьбы с огнем в режиме онлайн. Это позволяет визуализировать их передвижение на карте и быстро реагировать на возникающие риски.

Данные и методы

Цифровизация лесной отрасли – это не конечная цель, а постоянный процесс, которая предусматривает комплексный системный подход к преобразованию лесной отрасли посредством цифровизации, направленный на повышение производительности, укрепление экологической безопасности, улучшение качества предоставления государственных услуг и повышение устойчивости к изменению климата [1].

Цифровизация лесной отрасли происходит на фоне растущего интереса во всем мире к цифровому прогрессу как средству ускорения устойчивого развития биологических и экологических систем. Раньше многие пользователи услуг лесного комплекса работали с бумажными документами, в настоящее время на первое место выходит обеспечение качественного и оперативного сервиса, переход от внедрения цифровых документов к повышению их качества и объема, а также к ускорению их получения. Ярким примером служит налаженное информационное взаимодействие с Федеральной нотариальной палатой, позволяющее лесопользователям представлять доверенности в электронном формате. Цифровая трансформация ландшафта лесного хозяйства принесла ощутимые перемены как в регионы, так и в деятельность лесопользователей. Словно рассеивающийся туман, завеса

секретности пала: информация стала кристально прозрачной. Теперь, благодаря публичной лесной карте, каждый может увидеть характеристики конкретной лесосеки или лесного квартала, тогда как ранее эти сведения были доступны лишь посвященным. В то же время, подобно неусыпному оку, цифровизация усилила контроль за заготовкой и использованием лесных богатств. Если прежде лесник, вооружившись карандашом, волен был наносить квадраты на карте, определяя места вырубки, то теперь его действия, словно под пристальным взором спутника, можно проверить дистанционно или непосредственно на месте. Это позволяет с уверенностью утверждать, что лесосека используется в строгом соответствии с заявленными данными, не оставляя места для злоупотреблений.

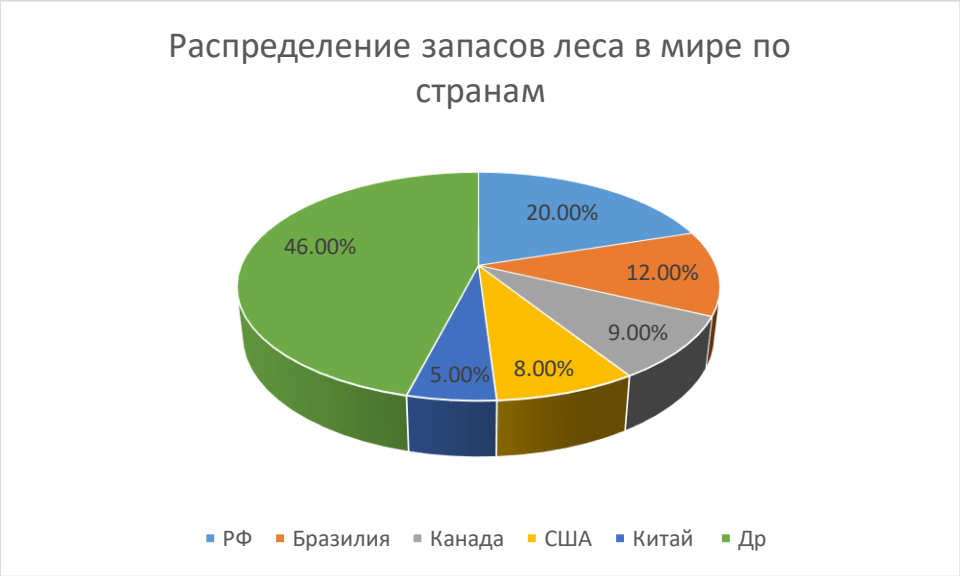


Рисунок 1 - Распределение запасов леса в мире по странам [2]

Достижение Целей устойчивого развития (ЦУР), установленных Повесткой дня на период до 2030 года, сейчас как никогда важно, поскольку срок приближается, а многие цели всё ещё далеки от достижения. Страны по всему миру сталкиваются с целым рядом сложных и взаимосвязанных проблем, включая продолжающиеся конфликты, кризисы здравоохранения, утрату биоразнообразия, эскалацию последствий изменения климата, а также политическую и экономическую напряжённость.

ФАО является агентством-кастодием по 22 показателям ЦУР, охватывающим цели 2, 5, 6, 12, 14 и 15. Среди её основных обязанностей как агентства-кастодием – разработка методологий показателей, сбор, гармонизация и компиляция данных из стран, а также распространение и анализ данных на глобальном уровне. В настоящем докладе представлен анализ региональных и глобальных показателей и тенденций по 22 показателям ЦУР, находящимся в ведении ФАО, что является одной из ключевых функций ФАО как агентства-кастодием. Именно такой анализ, проводимый агентствами-кастодием, также составляет основу ежегодных глобальных докладов по ЦУР, подготавливаемых Статистическим отделом Организации Объединённых Наций (ООН) [2].

Мир находится на умеренном расстоянии от достижения примерно половины показателей ЦУР, связанных с продовольствием и сельским хозяйством, находящихся под контролем ФАО; четверть показателей близка к достижению, в то время как ещё четверть остаётся далека или очень далека от достижения. При этом прогресс с 2015 года ухудшился по более чем трём пятым показателей; один показатель стагнирует; и только по оставшейся трети показателей отмечено улучшение или незначительное улучшение.

По оценкам, в 2024 году от голода страдали 8,2% населения мира, что ниже показателей 2023 года и 8,7% в 2022 году, но все еще выше, чем в 2015 году. Уровень отсутствия продовольственной безопасности в мире также постепенно снижался с 2021 года, но остается значительно выше показателей 2015 года: около 28% населения мира — почти 2,3 млрд

человек — испытывали умеренную или серьезную нехватку продовольствия в 2024 году по сравнению с 21,4% (1,6 млрд человек) в 2015 году [2].

Для достижения ЦУР 2 был введен новый показатель минимального разнообразия питания (МРП), подчеркивающий важнейшую роль здорового питания в борьбе со всеми формами неполноценного питания. В период с 2019 по 2023 год 65% женщин детородного возраста в мире достигают минимального разнообразия питания (МРП-Ж), при этом самая низкая распространенность МРП-Ж наблюдается в странах Африки к югу от Сахары (44%), а также в Центральной и Южной Азии (48%). Более того, в большинстве регионов со временем наблюдается ухудшение ситуации, за исключением Северной Америки и Европы (на пути к достижению цели), а также Центральной и Южной Азии (на пути к достижению цели, но слишком медленно).

Мелкие производители продуктов питания играют жизненно важную роль в поддержке глобальных продовольственных систем и местной экономики, но постоянно демонстрируют более низкую производительность по сравнению с крупными производителями, особенно в странах с высоким уровнем дохода. В странах с низким и средним уровнем дохода производительность труда падает ниже 25 долларов США (постоянный паритет покупательной способности [ППС] 2017 г.) в день. В разных странах мелкие производители продуктов питания зарабатывают в среднем менее половины того, что зарабатывают их крупные коллеги, при этом годовой доход от сельскохозяйственной деятельности часто составляет менее 1500 долларов США (постоянный ППС 2017 г.). Различия также сохраняются в отношении собственности на землю. Данные по 49 странам показывают широко распространенное отсутствие гарантированных прав на землю как для мужчин, так и для женщин в сельскохозяйственных домохозяйствах, причем в большинстве стран женщины реже владеют землей, чем мужчины. Почти в 80 процентах этих стран менее половины женщин имеют гарантированные права на землю, а мужчины зачастую как минимум в два раза чаще владеют землей. Дополнительные правовые исследования подтверждают эту картину, показывая, что только 17 процентов стран, предоставивших отчетность, предлагают высокий или очень высокий уровень защиты земельных прав женщин; 24 процента стран предлагают средний уровень защиты; в то время как 59 процентов стран обеспечивают низкий, очень низкий уровень или вообще не обеспечивают никакой защиты [2].

Новые данные, полученные на основе сочетания ключевых экономических, социальных и экологических показателей, свидетельствуют о том, что мир находится на умеренном расстоянии от достижения продуктивного и устойчивого сельского хозяйства, при этом с 2015 года было зарегистрировано небольшое улучшение в направлении достижения продуктивного и устойчивого сельского хозяйства. Количество генетических ресурсов животных, защищённых в учреждениях по сохранению, увеличилось, при этом растущими усилиями по криоконсервации генетического материала. Тем не менее, только 4,6 процента местных пород и 17,2 процента трансграничных пород содержатся с достаточным количеством материала для восстановления породы в случае вымирания. В то же время 69 процентов местных пород (по сравнению с 67 процентами в 2015 году) и 50 процентов трансграничных пород (по сравнению с 49 процентами в 2015 году) с известными статусами риска по-прежнему находятся под угрозой исчезновения. Хотя объём мирового разнообразия сельскохозяйственных культур и связанных с ними культур, сохраняемого ex situ , продолжал расти, этот рост также продолжал замедляться с течением времени, снизившись до 0,5 процента в 2023 году и 0,1 процента в 2024 году.

Увеличение государственных инвестиций в принятие мер по обеспечению надлежащего функционирования рынков продовольственных товаров в целях предотвращения крайней волатильности цен на продовольствие является одним из ключевых средств реализации, которые имеются у правительств для обеспечения продовольственной безопасности, питания и устойчивого сельского хозяйства. В период с 2015 по 2023 год мировые государственные расходы на сельское хозяйство увеличились в номинальном выражении, достигнув исторического максимума в 701 млрд долларов США в 2023 году.

Однако индекс ориентации на сельское хозяйство, который сравнивает государственные расходы на сельское хозяйство с вкладом сельскохозяйственного сектора в валовой внутренний продукт (ВВП), снизился с 0,50 в 2015 году до 0,43 в 2023 году. Что касается аномалий цен на продовольствие, доля стран с умеренно или аномально высокими ценами на продовольствие несколько снизилась в 2023 году, но остается в три раза выше среднего значения за 2015–2019 годы. Хотя в некоторых регионах наблюдались незначительные улучшения, сохраняющаяся геополитическая напряженность и связанные с погодой потрясения, особенно в Азии и малых островных развивающихся государствах, способствовали сохранению нестабильности на мировых рынках продовольствия.

Повышение эффективности водопользования и снижение водного стресса являются ключевыми факторами обеспечения постоянной доступности и устойчивого управления водными ресурсами, особенно в странах с развитой аграрной экономикой, где вода может быть одним из основных сдерживающих факторов. Глобальная тенденция к повышению эффективности водопользования (ЭВ) демонстрирует значительный рост, составив 23% в период с 2015 по 2022 год, главным образом благодаря экономическому росту. Несмотря на этот прогресс, региональные различия сохраняются. В то время как Океания, Северная Америка и Европа превзошли среднемировой показатель ЭВ, Центральная и Южная Азия демонстрируют самые низкие уровни ЭВ. С другой стороны, уровень водного стресса во всем мире остается относительно стабильным и составляет 18% по состоянию на 2022 год. Однако более детальное рассмотрение на региональном уровне выявляет более тревожную картину: Западная Азия и Северная Африка сталкиваются с острой нехваткой воды. В этих регионах уровень водного стресса вырос на 12% с 2015 года, что подчеркивает острую необходимость целенаправленных мер для решения этих проблем.

Океаны являются крупнейшей экосистемой в мире, поддерживающей средства к существованию миллионов людей, многие из которых зависят от мелкого рыболовства, и поставляющей значительную долю животных белков во всем мире. Однако устойчивость рыбных ресурсов вызывает обеспокоенность. Защита мелкого рыболовства и борьба с незаконным, несообщаемым и нерегулируемым (ННН) промыслом являются некоторыми из ключевых мер по обеспечению устойчивости мирового рыболовства и здоровья морских экосистем. В 2024 году мир достиг высокого уровня имплементации (оценка 4 из 5) инструментов по борьбе с ННН-промыслом и очень высокого уровня (оценка 5 из 5) имплементации инструментов по защите мелкого рыболовства. Среди заметных событий — расширение Соглашения ФАО о мерах государства порта (СМГП) до 78 сторон в январе 2025 года и введение в 2023 году Глобальной системы обмена информацией СМГП, которая позволяет государствам обмениваться информацией о соблюдении правил на рыболовных судах. Тем не менее, конкретные последствия этих недавних мер еще предстоит увидеть, поскольку доля мировых рыбных запасов, находящихся в пределах биологически устойчивого уровня, снизилась до 62,5 процента в 2021 году по сравнению с 90 процентами в 1974 году.

Наземные экосистемы являются основой устойчивого развития и предпосылкой для продовольственной безопасности, питания и устойчивого сельского хозяйства, однако они сталкиваются с растущими угрозами. Площадь лесов в мире продолжает сокращаться, хотя и несколько более медленными темпами по сравнению с предыдущими десятилетиями. Доля лесного покрова снизилась с 31,9 процента от общей площади земель в 2000 году до 31,2 процента в 2020 году, что привело к чистой потере почти 100 миллионов гектаров. Несмотря на прогресс в устойчивом лесоуправлении, темпы утраты лесов остаются высокими, главным образом из-за расширения сельского хозяйства для производства сельскохозяйственных культур и животноводства (ФАО, 2022) Глобальный горный зеленый покров снизился с 83 процентов до 82,2 процента в период с 2000 по 2021 год. Примерно 3,5 процента горных районов мира испытали пагубные изменения почвенно-растительного покрова, причем в странах Африки к югу от Сахары (6,8 процента) наблюдается самый высокий уровень деградации горных земель [3].

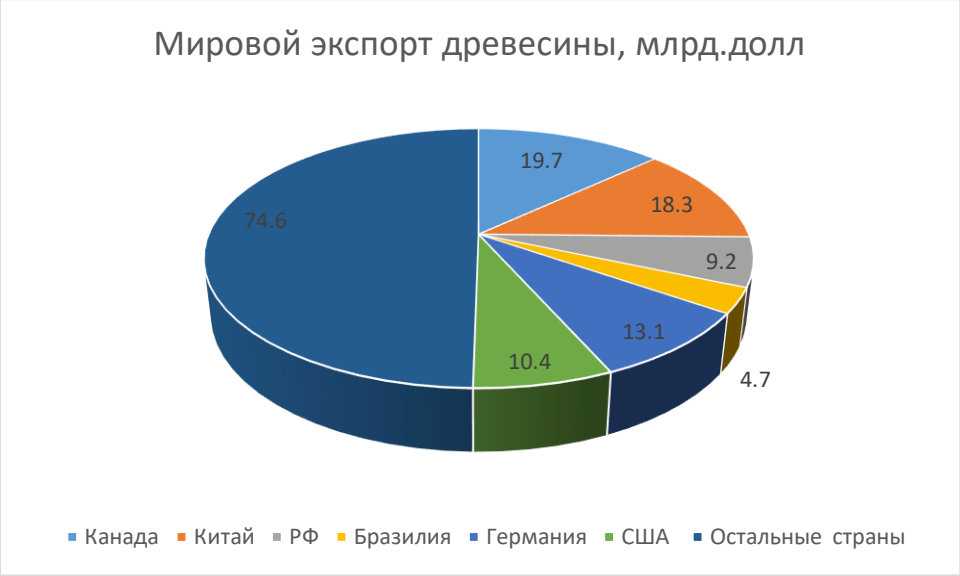


Рисунок 2 - Мировой экспорт древесины, млрд.долл. [2]

Обновлённая оценка глобального и регионального прогресса в достижении ЦУР свидетельствует о том, что с 2015 года мир не добился никаких улучшений и остаётся на умеренном расстоянии от достижения цели. Эта оценка не изменилась по сравнению с предыдущим изданием данного доклада, опубликованным в 2023 году. Восточная Азия и Юго-Восточная Азия, Центральная Азия и Южная Азия, Латинская Америка и Карибский бассейн, Северная Америка и Европа также находятся на умеренном расстоянии от цели, хотя последние три региона также добились небольшого улучшения, тогда как прогресс в отношении первого застопорился. Напротив, Западная Азия и Северная Африка, Африка к югу от Сахары и Океания в настоящее время далеки от достижения ЦУР, хотя в Океании наблюдается небольшое улучшение в достижении цели, в то время как в Африке к югу от Сахары, Западной Азии и Северной Африке не наблюдалось улучшений с 2015 года.

В России действуют два реестра, регламентирующих землепользование: ЕГРН и Государственный лесной реестр. До принятия закона о лесной амнистии в 2017 году между ними существовали значительные расхождения. Целью стало приведение их к единому стандарту. Это необходимо для уверенности владельцев участков в отсутствии претензий со стороны лесничеств и, наоборот, для выявления случаев незаконного изъятия земель из лесного фонда, препятствующих их продаже. Закон определил четкие критерии для амнистирования одних землевладельцев и возврата земель в лесной фонд другими. Была установлена процедура рассмотрения спорных вопросов и устранения несоответствий. Завершение реализации закона запланировано на конец 2025 года [3]. Ключевым моментом финального этапа является интеграция всех информационных систем Росреестра РФ. Это позволит унифицировать границы лесных массивов на всех картах лесных угодий [4].

Стратегические приоритеты включают улучшение доступа к объединению методов дистанционного зондирования и геоинформационных систем (ГИС), а также предоставление использования инструментов, необходимых для участия в цифровых цепочках создания стоимости, в том числе передовых технологий, таких как спутниковая съемка и беспилотные летательные аппараты, которые обеспечивают оперативные данные о состоянии лесных массивов, что позволяет эффективно выявлять случаи обезлесения, пожары, незаконные рубки и прочие нарушения [5]. Поэтому программа, структурированная вокруг долгосрочных целей экономического развития лесной отрасли ориентирована на создание благоприятной среды для инноваций посредством инвестиций в цифровую инфраструктуру, развитие цифровых государственных услуг, повышение уровня цифровых навыков и грамотности, а также формирование динамичной рыночной экосистемы для принятия цифровых решений, активное использование таких инновационных инструментов, как ГИС-технологии и беспилотные

летательные аппараты, которые способствуют принятию взвешенных экономических и управленческих решений в сфере пространственного планирования, природоохранных мероприятий, оптимизации распределения лесных ресурсов и повышение эффективности устойчивого управления лесным хозяйством для точного мониторинга и рационального использования лесных природных ресурсов [6].

Вывод

Цифровизация лесной отрасли – это непрерывный процесс, а не конечная цель. Отказ от бумажных документов и переход к цифровым решениям обусловлен растущими требованиями пользователей к качеству и оперативности обслуживания. В настоящее время произошел окончательный переход от простого внедрения цифровых документов к повышению их качества, увеличению объемов и ускорению получения нужной информации. Перспективными направлениями развития цифровизации на российском рынке является налаживание информационного взаимодействия с Федеральной нотариальной палатой для предоставления лесопользователями электронных доверенностей. Цифровизация оказала значительное влияние на внутрироссийскую систему экономического взаимодействия, обеспечив лесопользователей нужной им информацией с помощью использования цифровых технологий, в том числе онлайн- платформ и мобильных приложений. Благодаря публичной лесной карте любой может ознакомиться с характеристиками конкретной лесосеки или квартала, ранее доступными узкому кругу лиц. Также усилился контроль за заготовкой и использованием леса. Действия лесника, выбирающего места для заготовки древесины, теперь можно проверить с помощью спутниковых снимков или на месте, что позволяет убедиться в соответствии использования лесосеки заявленным данным. Дистанционное зондирование является незаменимым и инновационным инструментом для мониторинга лесного покрова и выявления изменений в землепользовании с течением времени в мировом масштабе.

Использование этих технологий и инновационных инструментов не только увеличивает производительность и экономическую эффективность, но и способствует обеспечению деятельности устойчивой и экологически сбалансированной лесной био – и экосистемы мирового и внутрироссийского уровня.

Список литературы

1. Дорошенко, Ю. А. Научно-теоретические аспекты стимулирования инновационно-инвестиционных драйверов развития высокотехнологичного сектора региональной экономики / Ю. А. Дорошенко, И. О. Малыхина, Е. Д. Щетинина // Общество: политика, экономика, право. – 2023. – № 8(121). – С. 99-105. – DOI 10.24158/pep.2023.8.12.

2. Отслеживание прогресса по показателям ЦУР, связанным с продовольствием и сельским хозяйством, к 2025 году ФАО. 2022. Дистанционное зондирование FRA 2020. Доклад ФАО по лесному хозяйству, № 186. Рим. https://doi.org/10.4060/cb9970en

3. Лола И.С., Дубкова А.Д., Андреев К.Д. Инвестиции промышленности в «зеленые» технологии: тренды GreenTechнаправлений в 2023-2024 гг. М.: НИУ ВШЭ, 2024. – с.20 //https://www.hse.ru/data/2024/04/11/2145539416/Digital_industry_1Q2024.pdf

4. Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение Ч-80 : докл. к XX Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 9–12 апр. 2019 г. / Г. И. Абдрахманова, К. О. Вишневский, Л. М. Гохберг и др. ; науч. ред. Л. М. Гохберг ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. — 82, [2] с. — 250 экз. — ISBN 978-5-7598-1974-5.

5. Зотова И.В. Влияние цифровой трансформации экономики на предпринимательские компетенции // Современная конкуренция. 2018. №2-3 (68-69). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsifrovoy-transformatsii-ekonomiki-na-predprinimatelskie-kompetentsii (дата обращения: 07.05.2024).

6. Михайлов Ф.Б., Мясников Д.А., Фахрутдинов Б.И. Влияние цифровой экономики на процессы диффузии инноваций / Ф.Б. Михайлов, Д.А. Мясников, Б.И. Фахрутдинов // Экономические науки.- 2022.- № 3.- С. 119-124.

References

1. Doroshenko, Yu. A. Scientific and theoretical aspects of stimulating innovation and investment drivers for the development of the high-tech sector of the regional economy / Yu. A. Doroshenko, I. O. Malykhina, E. D. Shchetinina // Society: politics, economics, law. – 2023. – № 8(121). – Pp. 99-105. – DOI 10.24158/pep.2023.8.12.

2. Tracking progress on SDG indicators related to food and agriculture by 2025 FAO. 2022. Remote sensing FRA 2020. FAO Forestry Report, No. 186. Rome.

https://doi.org/10.4060/cb9970en

3. Lola I.S., Dubkova A.D., Andreev K.D. Industrial investments in "green" technologies: trends in GreenTech directions in 2023-2024. Moscow: HSE, 2024. – p.20 //https://www.hse.ru/data/2024/04/11/2145539416/Digital_industry_1Q2024.pdf

4. What is the digital economy? Trends, competencies, measurement H-80 : proceedings of the XX Apr. international Scientific Conference on the development of economics and society, Moscow, 9-12 Apr. 2019 / G. I. Abdrakhmanova, K. O. Vishnevsky, L. M. Gokhberg et al. ; scientific ed. by L. M. Gokhberg ; National research. University of Higher School of Economics, Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2019, 82, [2] p. 250 copies. — ISBN 978-5-7598-1974-5.

5. Zotova I.V. The impact of the digital transformation of the economy on entrepreneurial competencies // Modern competition. 2018. No.2-3 (68-69). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsifrovoy-transformatsii-ekonomiki-na-predprinimatelskie-kompetentsii (date of access: 05/07/2024).

6. Mikhailov F.B., Myasnikov D.A., Fakhrutdinov B.I. The influence of the digital economy on the diffusion of innovations / F.B. Mikhailov, D.A. Myasnikov, B.I. Fakhrutdinov // Economic sciences.- 2022.- No. 3.- pp. 119-124.

DOI: 10.58168/Forestry2025_207-209
УДК 630 52:630 231

ПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ НА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЛЯХ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

А.А. Вайс [1], Д.Я. Данилюк [2], Д.О. Волкова[2], М.А. Зентерекова[2]

д-р с.-х. наук, профессор кафедры «Лесной таксации, лесоустройства и геодезии» [1],
магистрант[2]
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье представлен комплекс методов оценки стволового объема и углерода в молодняках сосны с использованием классических формул Губера и Ньютона-Рикке с применением 132 моделей. В результате составлены множественные линейные уравнения для оценки объема стволовой древесины и углеродной продукции соснового молодняка на залежных землях Красноярской котловины. Полученные модели демонстрируют высокую статистическую значимость коэффициентов и надежность, что позволяет использовать их для оценки запасов древесины и углерода в насаждениях.

Ключевые слова: стволовой объем, таксационные показатели, углерод, сосновый молодняк.

Productivity of Pine Saplings on Degraded Lands Under the Conditions of the Krasnoyarsk Forest-Steppe

A.A. Vais [1], D.Ya. Danilyuk [2], D.O. Volkova[2], M.A. Zenterekova[2]

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forest Tactics, Forest Management, and Geodesy [1],
Master's student[2]
Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. This paper presents a comprehensive set of methods for estimating stem volume and carbon content in pine saplings using classical formulas by Guber and Newton-Rikh with the application of 132 models. As a result, multiple linear equations were developed to assess the volume of pine stemwood and carbon productivity in young stands on degraded lands of the Krasnoyarsk Basin. The obtained models demonstrate high statistical significance of coefficients and reliability, enabling their use for estimating timber and carbon stocks in forest plantations.

Keywords: stem volume, taxtation indicators, carbon, pine saplings.

Важной составляющей оценки насаждений является определение древесного стволового запаса. В упрощённом виде это сумма объемов стволов отдельных деревьев. На этом основании вычислялся объем стволиков различными способами.

Поскольку стволики имели ограниченную высоту, для определения объема срубленных деревцев использовали простую формулу Губера [1]:

© Вайс А. А., Данилюк Д. Я., Волкова Д. О., Зентерекова М. А., 2025

$$V = g_{\frac{1}{2L}} \cdot L \text{ ,(1)}$$

где $g_{1/2L}$ – площадь поперечного сечения на половине ствола, м^2;
L – длина отрезка ствола, м.

Объем растущих (модельных) деревьев вычислялся по простой формуле Ньютона-Рикке [1]:

$$V = \left(g_0 + g_{\frac{1}{2L}} + g_L\right) \cdot \frac{L}{6}, \text{ (2)}$$

где g_o – площадь поперечного сечения у основания ствола, м^2;
g_L – площадь поперечного сечения ствола на расстоянии L, м^2.

Объединённый материал объема (V) растущих и срубленных стволиков составил 132 штуки.

Используя методический подход Климова А.Г, Кузьмичёва В.В. [3], в качестве независимых предикторов использовали следующие переменные: высоту (H), площадь поперечного сечения на высоте груди или у шейки корня и видовой цилиндр ($Hg_{1,3}$, Hg_0).

Итоговые множественные уравнения имели следующий вид:

$$V = 0{,}000625 \cdot \text{H} + 0{,}4917 \cdot g_{1,3} \cdot \text{H} \text{ , (3)}$$

Параметры уравнения следующие: R^2 = 0,98; F = 4093 (F > 3); m = 0,00791 м^3; коэффициенты уравнения значимы (p < 0,05);

$$V = 0{,}000732 \cdot \text{H} - 0{,}3660 \cdot g_0 + 0{,}3253 \cdot g_0 \cdot \text{H} \text{ , (4)}$$

Параметры уравнения следующие: R^2 = 0,99; F = 2162 (F > 3); m = 0,00826 м^3; коэффициенты уравнения значимы (p < 0,05).

Все уравнения достоверны, надёжны по критерию Фишера, с высоким значением коэффициента детерминации >0,98 и малой величиной ошибки <0,009 м^3.

Второй подход заключался в определении объема стволиков с использованием старого видового числа по формуле [1]:

$$F = \frac{V}{H \cdot g_{1,3}}, \text{ (5)}$$

Связь видовой высоты (HF) и высоты (H) (рисунок 1) позволила установить наличие линейной связи.

Параметры уравнения: R^2 = 0,79; mx = 1,04 м; F = 476; коэффициенты значимы p < 0,05.

На следующем этапе выполнен расчёт запасов углерода в стволовой древеине сосновых молодняков. Предварительно объемная величина переводилась только для растущих модельных деревьев в весовой показатель с помощью коэффициента плотности (p = 820 кг · м$^{-3}$) [4], затем в сухое состояние с помощью коэффициента влажности ($К_В$) и углеродную массу ($К_С$ = 0,5) [2]:

$$\text{C} = V \cdot p \cdot \text{Кв} \cdot \text{Кс} \text{ , (7)}$$

где C – углеродная продуктивность дерева, кг.

Итоговое уравнение имело следующий вид:

$$C = 0{,}1 \cdot H + 125{,}1621 \cdot g_{1,3} + 61{,}1751 \cdot Hg_{1,3}, \quad (8)$$

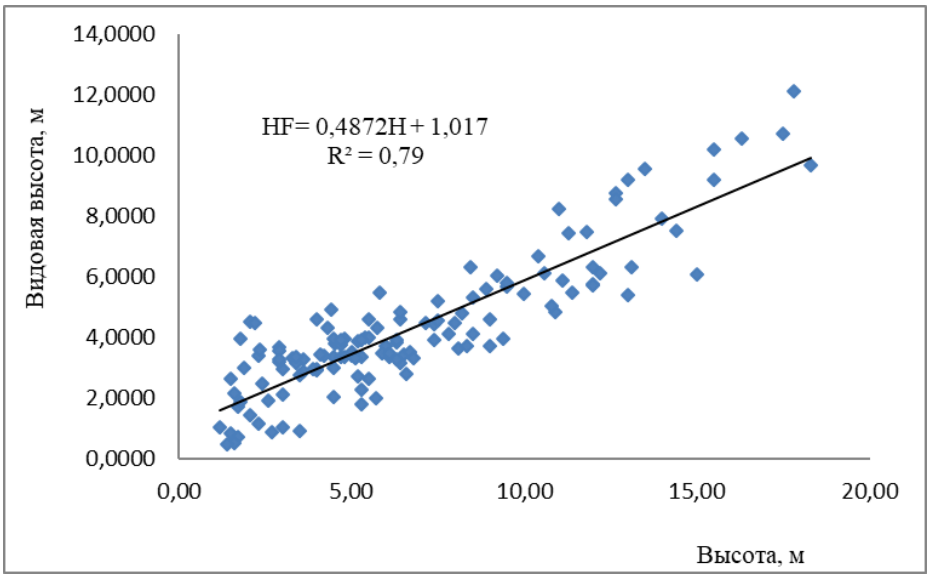


Рисунок 1 – Связь видовой высоты и высоты стволиков сосны

В результате итоговая формула имела следующий вид:

$$V = (0{,}4872 \cdot H + 1{,}017) \cdot g_{1,3}, \quad (6)$$

Параметры уравнения: $R^2 = 0{,}98$; $F = 2265$ ($F > 3$); m = 1,33 кг; коэффициенты уравнения значимы ($p < 0{,}05$). Все уравнения достоверны, надёжны по критерию Фишера, с высоким значением коэффициента детерминации >0,98 и малой величиной ошибки <1,3 кг.

В результате получен ряд множественных линейных уравнений для определения объема стволовой древесины молодняков сосны на основе диаметров деревьев на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$) и шейки корня (d_0). Составлено множественное линейное уравнение для оценки углеродной продуктивности по данным стволовой древесины молодых деревьев сосны.

Список литературы

1.Анучин Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-ть, 1982. – 550 с.

2.Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С. Формирование сосново-лиственных молодняков – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. – 175 с.

3.Климов А.Г., Кузьмичев В.В. Объемы маломерных стволов сосны обыкновенной в Читинской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2005. – №. 10. – С. 27–30.

4.Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник. – М.: ГОУ ВПО МГУ Л, 2007. – 351 с.

References

1. Anuchin N.P. Forest taxation: a textbook for universities. Moscow: Lesn. prom-ty, 1982. – 550 p.

2. Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S. Formation of pine-deciduous young trees – Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch, 1980. 175 p.

3. Klimov A.G., Kuzmichev V.V. Volumes of small-sized trunks of Scots pine in the Chita region // Actual problems of the forest complex. - 2005. – No. 10. – pp. 27-30.

4. Ugolev B.N. Wood science and forest commodity science: textbook. – M.: State Educational Institution of Higher Professional Education of Moscow State University, 2007. – 351 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_210-219
УДК 630 91

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОБЪЁМОВ НЕЗАКОННО ЗАГОТОВЛЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Е.В. Горяева, Д.С. Собачкин, Н.С. Кузьмик

к.с-х.н., доцент, старший научный сотрудник, лаборатория таксации и лесопользования
к.б.н., старший научный сотрудник, лаборатория лесоведения и почвоведения,
к.с-х.н., старший научный сотрудник, лаборатория таксации и лесопользования,

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН г. Красноярск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрена актуальная проблема оценки ущерба от незаконных рубок, особенно на землях сельскохозяйственного назначения, где стандартные методы таксации зачастую неприменимы из-за отсутствия материалов лесоустройства, зарастания территорий и быстрого разрушения пней. В качестве решения предлагается комплексный подход, сочетающий методы пространственной экстраполяции таксационных показателей соседних участков, ГИС-технологии, анализ исторических данных и современные средства дистанционного зондирования (LiDAR). Делается вывод о необходимости разработки адаптированных методик для судебно-экспертной практики, позволяющих достоверно оценивать ущерб в сложных условиях.

Ключевые слова: незаконная рубка леса, земли сельскохозяйственного назначения, материалы лесоустройства, методы восстановительной таксации

MODERN METHODS OF ASSESSING THE VOLUMES OF ILLEGALLY HARVESTED TIMBER: PROBLEMS AND SOLUTIONS

E.V. Goryaeva, D.S. Sobachkin, N.S. Kuzmik

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory of Forest Inventory and Management,
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Forest Science and Soil Science,
Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Forest Inventory and Management,

V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences - a separate division of the KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. This paper examines the pressing issue of assessing damage from illegal logging, particularly on agricultural lands, where standard assessment methods are often inapplicable due to a lack of forest management records, overgrown areas, and rapid stump decay. A comprehensive approach is proposed, combining spatial extrapolation of assessment data from adjacent plots, GIS technologies, historical data analysis, and modern remote sensing (LIDAR) technology. It concludes that adapted forensic methods are needed to reliably assess damage in complex conditions.

Keywords: illegal logging, agricultural land, forest management materials, restoration taxation methods

© Горяева Е. В., Собачкин Д. С., Кузьмик Н. С., 2025

Вопрос нелегального использования лесов стоит довольно остро в современной практике ведения лесного хозяйства, не смотря на снижение их объемов. Статистика Рослесхоза показывает, что на незаконные рубки приходится около 70 % всех лесонарушений [6]. В действующем лесном кодексе РФ 2006 отсутствует понятие «незаконная рубка [7]. В общем смысле понятие «незаконная вырубка» содержится в Уголовном кодексе РФ ст. 260 [18] и Кодексе РФ об административных правонарушениях [5]. Под незаконной вырубкой понимается повреждение лесных насаждений или не отнесенных к лесным насаждениям деревьев, кустарников, лиан до состояния прекращения их роста при отсутствии соответствующей разрешительной документации.

При обнаружении случая несанкционированной рубки возникает необходимость проведения экспертной оценки ущерба, нанесенного лесной экосистеме при незаконном изъятии древесины. Следует отметить, что, несомненно, наличие древостоя определяет идентификацию лесного участка как покрытого лесом и он является основой лесной экосистемы, но ущерб от незаконных рубок следует рассматривать исходя из того факта, что древостой является основным, но не единственным компонентом лесной экосистемы. При незаконных рубках уничтожается не только древостой, но и подлесочные породы, кустарники, напочвенный покров, нарушаются ареалы распространения растений, грибов, животных, среди которых могут встречать редкие, исчезающие, виды, разрушаются гнезда птиц и муравейники, не соблюдаются принцип недопустимости рубок особозащтных участков леса (ОЗУ). Кроме этого, нарушенная незаконной рубкой лесная экосистема в неполной мере выполняет свои экологические функции: продуцирование кислорода и поглощение углекислого газа, санитарно-гигиеническую, рекреационную, водорегулирующую, климаторегулирующую, почвообразующую, противоэрозионную и др. Незаконная рубка древостоя нарушает его состав, структуру, ухудшает санитарное состояние, что может привести к деградации и гибели лесной экосистемы на локальном уровне.

Комплексный расчет ущерба от незаконных рубок, с учетом повреждений всех компонентов лесной экосистемы и нарушений экологических функций лесов, является сложной, многофункциональной задачей, не всегда выполнимой, т.к. возникают трудности в стоимостном выражении величины ущерба. В большинстве случаев расчет ущерба сводится к определению потерь древесной части лесной экосистемы в стоимостном выражении, с учетом установленных корректирующих коэффициентов. Следовательно, при расчете ущерба от незаконных рубок насаждений первоочередной задачей является определение объема вырубленной древесины и породного состава вырубленного древостоя, в соответствии с методиками определения стоимости заготовленной древесины [11].

Расчет ущерба от вырубки лесов на землях лесного фонда сводится к определению запаса и породной структуры древостоя стандартными методами перечислительной таксации, а при невозможности проведения перечета пней - по материалам лесоустройства. Определение ущерба от незаконных рубок древостоев на землях, не входящих в состав лесного фонда, в частности, сельхозугодьях, вопрос неоднозначный, т.к. эти земли не использовались по назначению, в результате произошли закономерные процессы зарастания пустующих площадей, которые предназначены для других целей, и ценность лесов, как экосистемы в целом, здесь может быть поставлена под сомнение.

Стандартная практика контроля объема вырубленной древесины по окончании рубок заключается в использовании наземных методов перечислительной таксации и дистанционных, аналитико-измерительных методов по результатам дешифрирования космических и аэрофотоснимков земли.

Наземные методы контроля мест рубок соотносятся со способами таксации лесосек, однако перечету подлежат не деревья, а пни. При сплошных способах рубок: сплошной перечет (на площади до 3 га), ленточный перечет, перечет на круговых площадках постоянного или не постоянного радиуса, использование материалов лесоустройства. При выборочных рубках закладывают одну или две пробных площади размером от 3 до 5%

площади лесосеки, на них производят перечет сплошной, ленточный, выборочный, круговыми площадками [8].

Использование перечислительных методов (сплошной, частичный или круговыми площадками) целесообразно при оперативном обнаружении незаконной вырубки, в течении 1-2 года после рубки. Более поздние сроки давности рубки делают невозможным проведение осмотра и перечета пней по следующим причинам:

- вырубки 2-х и более летней давности активно начинают заселяться травяной растительностью, кустарниковой порослью, появляются всходы молодого поколения леса. Поиск пней в таких условиях затруднен или невозможен (рис.1).

Рисунок 1 – Зарастание мест незаконных рубок травянистой растительностью, давность рубки 5 лет

- для определения породы и возраста срубленного дерева необходим достаточно свежий пень с видимыми древесными кольцами и сохранившейся корой. Процесс разложения пня, по данным наших обследований, начинается уже через 3 года после рубки дерева. Кора разлагается в первую очередь [4, 15], что делает невозможным определение породы дерева в полевых условиях.

На рисунках 2 и 3 представлены фрагменты незаконных вырубок с наличием пней различной степени разложения.

Целью данной работы является анализ и выявление методов определения объемов вырубленной древесины при расчете ущерба от незаконных рубок леса на участках с отсутствием материалов лесоустройства.

Методы исследований: лесоводственные методы натурного обследования мест незаконных вырубок, аналитические методы, **картографический анализ** (применение картографических методов для визуализации пространственного распределения лесных участков), **сравнительный анализ** методов.

Источники данных: научные публикации и диссертационные исследования, посвященные оценке лесных ресурсов и эколого-экономическим аспектам лесопользования, материалы натурных обследований мест незаконных рубок на землях сельскохозяйственного назначения в Красноярском крае.

Рисунок 2 – Пни на свежей вырубке

Рисунок 3 – Разлагающиеся пни на вырубках 5-летней давности

По данным прокуратуры Красноярского края, заросшие лесом сельскохозяйственные угодья все чаще становиться объектами незаконной заготовки древесины [13]. Земли сельскохозяйственного назначения это земли, которые расположены за пределами населенных пунктов, предназначенные и предоставленные для нужд сельского хозяйства. Заготовка древесины на землях сельскохозяйственного назначения запрещена, так как появившиеся насаждения не описаны и официально не учтены. Следовательно, рубка и уничтожение этих насаждений без прохождения специальной процедуры получения разрешительных документов является незаконной [14].

Незаконные рубки на землях сельскохозяйственного назначения чаще всего имеют большую площадь, и вырубка на них ведется бессистемно, выборочно, с различной интенсивностью. Согласно Наставлениям по отводу и таксации лесосек, в низкополнотных древостоях не зависимо от площади, таксация выполняется сплошным перечетом. Определение запаса вырубленной древесины на месте незаконной вырубки большой площади является трудоемкой задачей, в большинстве случаев, невыполнимой.

Методы таксации на основе дешифрирования космических и аэрофотоснимков основаны на измерениях, которые проводятся на значительном расстоянии от земли с летательных воздушных аппаратов и космических спутников. Применительно к мониторингу

незаконных рубок методы дистанционного зондирования земли позволяют выявить факт незаконной рубки и определить ее площадь с определенной точностью. Незаконную вырубку легко отличить от вырубки, санкционированной лесными органами:

- неправильная геометрическая форма вырубки;
- отсутствуют технологические площадки (пасеки, волоки, погрузочные площадки, подъездные транспортные пути);
- отсутствуют лесосечные столбы, границы лесосек не обозначены;
- захламленность вырубки порубочными остатками и брошенными лесоматериалами.

После проведения контрольной таксации, обработки полевых материалов, расчетов средних таксационных показателей и средних квадратических отклонений по данным таксации лесов дешифровочным способом и полевыми измерениями выполняется анализ полученных результатов и их сравнительная оценка [2].

Для более точного определения площади и запаса вырубленной древесины необходимы наземные методы таксации, натурное обследование места рубки или наличие таксационных описаний. Определить запас вырубленной древесины не представляется возможным, т.к. пни скрыты густой травянистой растительностью.

Проблема определения ущерба лесной экосистеме на землях сельскохозяйственного назначения стоит остро, запросы от судебных органов на такого рода экспертные оценки достаточно актуальны. Как показывает практика, определить запас вырубленной древесины на больших площадях, следовательно, ущерб от незаконной рубки стандартными методами проблематично, а на землях сельскохозяйственного назначения практически невозможно.

Решением проблемы может быть применение методов реконструкции таксационных показателей насаждения, *которые* используется для восстановления неизвестных характеристик насаждения на основе данных о соседних участках со схожими условиями произрастания [12, 16, 19].

Методы базируется на следующих принципах:

– **Однородности лесорастительных условий** – если участки расположены в одном типе леса, на схожих почвах и рельефе, их таксационные показатели коррелируют.

– **Пространственной автокорреляции** – близко расположенные насаждения имеют статистически значимую взаимосвязь по характеристикам.

– **Лесорастительного районирования** – в пределах одного лесного выдела или хозяйственной секции параметры древостоев устойчиво повторяются.

Этапы применения метода

1. **Выбор аналога** – подбирают участки с максимальным совпадением:

– Тип леса (по классификации Погребняка П.С. или Сукачёва В.Н. [10, 17]);
– Состав и сомкнутость древостоя;
– Условия местопроизрастания (гидрологический режим, экспозиция склона).

2. **Корректировка параметров** – при различиях в возрасте или полноте выполняют пересчёт по региональным таксационным таблицам.

3. **Верификация** – проверка сходства через индексы.

Для количественного описания используют:

– Регрессионные модели связи между таксационными показателями;
– Геостатистические методы (кригинг, интерполяция);
– Машинное обучение (например, Random Forest для прогнозирования запаса на основе данных LiDAR и аналогов).

К методам реконструкции таксационных показателей насаждения можно отнести:

- **Методы экстраполяции таксационных показателей** [12]**.**
- **ГИС-технологии и пространственная интерполяция** [1].
- **Реконструкция таксационных характеристик на основе исторических данных лесоустройства [**9].
- **Лазерное сканирование (лидар + нейросети) [3].**

Сравнивая изложенные методы таксации (таблица 1), можно отметить, выбор метода таксации и определение запаса вырубленной древесины зависит от следующих факторов:

Таблица 1 – Анализ методов таксации, применяемых на местах незаконных рубок

Методы	Подходы	Преимущества/недостатки
Перечислительные методы таксации	Получение таксационных характеристик древостоя путем проведения сплошного перечета или таксации пробных площадей	**Высокая точность.** **Не требует дорогостоящей аппаратуры.** **Прямая оценка качества древостоя.** Является эталонным методом. Трудоемкий метод, особенно в труднодоступной местности.
Дешифровочные методы	**Визуальное дешифрирование.** **Автоматизированное/Компьютерное дешифрирование.**	**Высокая производительность и оперативность:** **Охват больших и труднодоступных территорий**. **Объективность и повторяемость:** **Цифровой результат**, интегрируются с ГИС и системами лесного планирования. **Косвенность измерений.** **Высокая стоимость данных.** **Зависимость от погодных условий.** **Сложность дешифрирования,** требует высококвалифицированных специалистов. **Возможны ошибки из-за рельефа.**
Экстраполяция таксационных показателей	Анализ однородности лесорастительных условий (тип леса, почвы, рельеф). Корреляция таксационных характеристик в смежных выделах. Статистические модели регрессии для прогноза запаса.	Метод применим только при доказанной аналогичности выделов.
ГИС-технологии и пространственная интерполяция	Интерполяция таксационных данных по алгоритмам **k-NN (k-Nearest Neighbors)** на основе спутниковых снимков Sentinel-2/Landsat. Построение цифровых моделей рельефа (ЦМР) для учета микроусловий. Валидация по архивным данным инвентаризации.	Погрешность восстановления запаса — 12–18% при наличии данных более пяти смежных выделов.
Реконструкция на основе исторических	Анализ изменений таксационных описаний выделов до/после рубки.	Требуется наличие архивных материалов лесоустройства.

данных лесоустройства	Экстраполяция данных по классам возраста и бонитета. Применение коэффициентов пересчета для учета различий в продуктивности.	
Лазерное сканирование (лидар + нейросети)	Сканирование сохранившихся фрагментов древостоя и соседних участков лидаром. Обучение U-Net архитектуры для прогноза параметров вырубленных зон. Точность восстановления структуры древостоя — 89%.	Учитывает пространственную неоднородность даже при отсутствии «идеальных» аналогов. **Высокая производительность и оперативность.** **Объективность и повторяемость:** **Цифровой результат**, интегрируются с ГИС и системами лесного планирования. Высокая стоимость оборудования. Требует высококвалифицированных специалистов.

- транспортной доступности обнаруженного лесного участка;
- категории земель, целевого назначения участка;
- наличия и актуальность материалов лесоустройства;
- давности рубки;
- наличия специализированного оборудования, материалов для дистанционного зондирования или лазерного сканирования, а также специалистов в этой области.

Восстановление характеристик древостоя по соседним выделам - **вторичный метод,** применяемый при отсутствии прямых данных. Его научная обоснованность зависит от доказанной однородности участков, качества исходных данных (лесоустройство, ДЗЗ), и использования верифицированных моделей (k-NN, регрессия). Для судебных экспертиз при обследовании мест незаконных рубок на участках с отсутствием материалов лесоустройства, требуется сочетание методов с дендрохронологическим анализом сохранившихся пней, спутниковым мониторингом исторической динамики, методов реконструкции таксационных характеристик.

Проблема оценки ущерба от незаконных рубок на землях, где отсутствуют или утеряны данные лесоустройства, например, землях сельскохозяйственного назначения, требует системного решения на стыке права, методологии лесной таксации и современных геоинформационных технологий. Ключом к преодолению методологического кризиса является отказ от архаичных наземных методов в пользу дистанционного лазерного сканирования (LiDAR) и параллельное развитие нормативной базы, учитывающей специфику данных территорий и комплексный характер методов оценки экологического ущерба. Инвестиции в LiDAR-инфраструктуру и кадры, а также законодательное закрепление новых подходов, являются научно обоснованным и практически реализуемым путем к объективной оценке ущерба и усилению охраны спонтанно формирующихся лесных экосистем.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания «Роль природных и антропогенных факторов в системе устойчивого управления лесами Сибири» (рег. № 124012900559-4)

Список литературы

1. Frate L., Carranza M. L., Garfì V., Febbraro M. D., Tonti D., Marchetti M., Ottaviano M., Santopuoli G., Chirici G. Spatially explicit estimation of forest age by integrating remotely sensed data and inverse yield modeling techniques // iForest. - 2015. - Vol. 9. - P. 63–71.
2. Архипов В. И., Басков В. И., Белов В. А., Березин В. И., Черниховский Д. М. Руководство по таксации лесов дешифровочным способом. - СПб.: ООО «Леспроект», 2021. — 99 с.
3. Кабонен А. В. Оценка состояния и структуры насаждений с применением аэрофотосъемки и лазерного сканирования: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: специальность 35.06.01 «Лесное хозяйство» / Кабонен Алексей Валерьевич; [место защиты: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет]. - Санкт-Петербург, 2024. — 118 с.
4. Капица Е. А., Шорохова Е. В., Ромашкин И. В. [и др.] Разложение коры в составе порубочных остатков после сплошных рубок в среднетаежных лесах // Лесоведение. — 2019. - № 1. - С. 38–48.
5. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 04.08.2023) // Гарант.ру: [сайт]. - URL: https://base.garant.ru/12125267/ (дата обращения: 15.09.2025).
6. Кузьмичев Е. П., Трушина И. Г., Лопатин Е. В. Объемы незаконных рубок лесных насаждений в Российской Федерации // Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. - 2018. - № 1. - С. 63–77. — URL: http://lhi.vniilm.ru/ (дата обращения: 15.09.2025).
7. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 14.07.2022) // КонсультантПлюс: справочная правовая система. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 15.09.2025).
8. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Приказ от 17.10.2022 № 688 «Об утверждении форм актов обследования лесных насаждений» // КонсультантПлюс: справочная правовая система. - URL: https://docs.cntd.ru/document/352246458 (дата обращения: 15.09.2025).
9. Николаева С. А., Савчук Д. А., Маркелова А. Н. Ретроспективный анализ этапов роста сосновых древостоев на юге Томской области // Интерэкспо Гео-Сибирь. - 2011. - № 2. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/retrospektivnyy-analiz-etapov-rosta-sosnovyh-drevostoev-na-yuge-tomskoy-oblasti (дата обращения: 19.09.2025).
10. Погребняк П. С. Основы лесной типологии. - Киев: Изд-во АН УССР, 1955. – 456 с.
11. Постановление Правительства РФ от 29.12.2018 № 1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства» // Гарант.ру: [сайт]. - URL: https://base.garant.ru/72141810/ (дата обращения: 19.09.2025).
12. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 12.12.2011 № 516 «Об утверждении Лесоустроительной инструкции» (зарегистрирован в Минюсте России 16.03.2012 № 23535) // Гарант.ру: [сайт]. - URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70046776/ (дата обращения: 15.10.2024).
13. Прокуратура Красноярского края: [официальный сайт]. - URL: https://epp.genproc.gov.ru/web/proc_24 (дата обращения: 15.09.2025).
14. Прокуратура Красноярского края. Разъяснения по вопросам лесного законодательства: [статья]. - URL: https://epp.genproc.gov.ru/web/proc_24/activity/legal-education/explain?item=69077005 (дата обращения: 15.09.2025).
15. Прокушкин С. Г., Прокушкин А. С., Сорокин Н. Д. Интенсивность разложения отдельных компонентов фитодетрита в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. - 2014. - № 1. - С. 76–85.

16. Сованчандара Х., Мураками Д., Фуджи С. [и др.] Коррекция таксационных показателей методом реконструкции структуры и роста насаждений: может ли информация о пнях улучшить оценки? // Сибирский лесной журнал. - 2018. - № 6. - С. 25–45.

17. Сукачёв В. Н. Руководство к исследованию типов леса. - 5-е изд., доп. - Москва: Гослесбумиздат, 1957. - 318 с.

18. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 04.08.2023) // КонсультантПлюс: справочная правовая система. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_10699/ (дата обращения: 15.09.2025).

19. Фарбер С. К., Федотова Е. В., Сычев Н. Н. Методика формализации природной основы с использованием ГИС-технологий // Хвойные бореальной зоны. - 2011. - Т. 29, № 3-4. - С. 300–304.

References

1. Frate L., Carranza M. L., Garfì V., Febbraro M. D., Tonti D., Marchetti M., Ottaviano M., Santopuoli G., Chirici G. Spatially explicit estimation of forest age by integrating remotely sensed data and inverse yield modeling techniques // iForest. - 2015. - Vol. 9. - P. 63–71.
2. Arkhipov V. I., Baskov V. I., Belov V. A., Berezin V. I., Chernikhovskiy D. M. Guide to forest taxation by interpretation method. - Saint Petersburg: OOO «Lesproekt», 2021. - 99 p. (In Russ.)
3. Kabonen A. V. Assessment of the state and structure of plantations using aerial photography and laser scanning: dissertation for the degree of Candidate of Agricultural Sciences: specialty 35.06.01 «Forestry» / Kabonen Aleksey Valeryevich; [place of defense: Saint Petersburg State Forestry University]. — Saint Petersburg, 2024. - 118 p. (In Russ.)
4. Kapitsa E. A., Shorokhova E. V., Romashkin I. V. [et al.] Decomposition of bark in logging residues after clear-cutting in middle taiga forests // Russian Journal of Forest Science. - 2019. - No. 1. - P. 38–48. (In Russ.)
5. Code of the Russian Federation on Administrative Offenses: federal law No. 195-FZ of 30.12.2001 (ed. from 04.08.2023) // Garant.ru: [website]. - URL: https://base.garant.ru/12125267/ (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
6. Kuzmichev E. P., Trushina I. G., Lopatin E. V. Volumes of illegal logging of forest plantations in the Russian Federation // Forestry Information: electronic network journal. - 2018. - No. 1. - P. 63–77. - URL: http://lhi.vniilm.ru/ (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
7. Forest Code of the Russian Federation: federal law No. 200-FZ of 04.12.2006 (ed. from 14.07.2022) // KonsultantPlyus: reference legal system. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
8. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Order of 17.10.2022 No. 688 “On approval of forms of forest plantation survey acts” // KonsultantPlyus: reference legal system. - URL: https://docs.cntd.ru/document/352246458 (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
9. Nikolaeva S. A., Savchuk D. A., Markelova A. N. Retrospective analysis of growth stages of pine stands in the south of Tomsk region // Interexpo Geo-Siberia. - 2011. - No. 2. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/retrospektivnyy-analiz-etapov-rosta-sosnovyh-drevostoev-na-yuge-tomskoy-oblasti (accessed: 19.09.2025). (In Russ.)
10. Pogrebnyak P. S. Fundamentals of forest typology. - Kiev: AN USSR, 1955. - 456 p. (In Russ.)
11. Decree of the Government of the Russian Federation of 29.12.2018 No. 1730 “On approval of the specifics of compensation for damage caused to forests and natural objects located therein due to violations of forest legislation” // Garant.ru: [website]. - URL: https://base.garant.ru/72141810/ (accessed: 19.09.2025). (In Russ.)
12. Order of the Federal Forestry Agency of 12.12.2011 No. 516 “On approval of the Forest Management Instruction” (registered in the Ministry of Justice of Russia on 16.03.2012 No.

23535) // Garant.ru: [website]. - URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70046776/ (accessed: 15.10.2024). (In Russ.)
13. Prosecutor's Office of the Krasnoyarsk Territory: [official website]. - URL: https://epp.genproc.gov.ru/web/proc_24 (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
14. Prosecutor's Office of the Krasnoyarsk Territory. Explanations on forest legislation issues: [article]. - URL: https://epp.genproc.gov.ru/web/proc_24/activity/legal-education/explain?item=69077005 (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
15. Prokushkin S. G., Prokushkin A. S., Sorokin N. D. Intensity of decomposition of individual phytodetritus components in larch forests of the cryolithozone of Central Siberia // Biology Bulletin. - 2014. - No. 1. - P. 76–85. (In Russ.)
16. Sovanchandara H., Murakami D., Fuji S. [et al.] Correction of taxation indicators by reconstructing the structure and growth of plantations: can stump information improve estimates? // Siberian Journal of Forest Science. - 2018. - No. 6. - P. 25–45. (In Russ.)
17. Sukachev V. N. Guide to the study of forest types. - 5th ed., add. - Moscow: Goslesbumizdat, 1957. - 318 p. (In Russ.)
18. Criminal Code of the Russian Federation: federal law No. 63-FZ of 13.06.1996 (ed. from 04.08.2023) // KonsultantPlyus: reference legal system. - URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_10699/ (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
19. Farber S. K., Fedotova E. V., Sychev N. N. Methodology for formalizing the natural basis using GIS technologies // Conifers of the Boreal Zone. - 2011. - Vol. 29, No. 3-4. - P. 300–304. (In Russ.)

The work was carried out within the framework of the State assignment "The role of natural and anthropogenic factors in the system of sustainable forest management in Siberia" (reg. No. 124012900559-4)

DOI: 10.58168/Forestry2025_220-228
УДК 330.15

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА РОССИИ И ГОСУДАРСТВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ В ОБЛАСТИ НЕДРЕВЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ ЛЕСА

В.И. Григорьев

Аспирант «Кафедры бухгалтерского учета, налогов и экономической безопасности»,
Поволжский государственный технологический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы экономического сотрудничества России и стран Северо-Восточной Азии в области недревесной продукции леса. Дан анализ российских недревесных ресурсов леса и перспектив их использования в торговле с рассматриваемым регионом. Особое внимание уделено потребностям региона-импортера в данной области. Сделан вывод о дальнейших перспективах развития сферы недревесной продукции леса России как экспортноориентированной, с акцентом на страны Северо-Восточной Азии.

Ключевые слова: недревесная продукция леса, экспорт, экономическое сотрудничество, Российская Федерация, Китайская Народная Республика, Республика Корея, Япония.

PROSPECTS FOR ECONOMIC COOPERATION BETWEEN RUSSIA AND THE STATES OF NORTHEAST ASIA IN THE FIELD OF NON-TIMBER FOREST PRODUCTS

V.I. Grigorev
Postgraduate student of the Department of Accounting, Taxes and Economic Security,

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

Abstract. The article examines the prospects for economic cooperation between Russia and Northeast Asia in the field of non-timber forest products. It provides an analysis of Russian non-timber forest resources and prospects for their use in trade with the region in question. Attention is paid to the needs of the importing region. A conclusion is made about the further prospects for the development of the non-timber forest products sector in Russia as export-oriented, with an emphasis on Northeast Asia.
Keywords: non-timber forest products, export, economic cooperation, Russian Federation, People's Republic of China, Republic of Korea, Japan.

Вопросы эффективности ведения лесного хозяйства Российской Федерации в современных условиях западного санкционного давления и глобальных изменений на мировом рынке в целом требуют особого внимания. И в этом направлении уже ведется крайне активная работа. При этом, к сожалению, все-еще уделяется недостаточное внимание такому важному аспекту лесного хозяйства как недревесные ресурсы леса [1]. Для многих эта сфера все-еще ассоциируется лишь с индивидуальной эксплуатацией этих ресурсов, которые не играли и не будут играть серьезной роли в рассматриваемой сфере хозяйства. Тем не менее, с каждым днем становиться все более очевидно, что недревесные ресурсы леса являются важной частью лесного хозяйства страны. Так, согласно последним оценкам Россельхозбанка рынок

© Григорьев В. И., 2025

дикоросов в России имеет потенциал вырасти до 1,5 триллионов рублей и при этом может дать частичную или полную занятость миллионам людей [10]. На данный момент считается, что этот потенциал освоен не более чем на 5%. Уже несколько лет в стране ведется активная работа над усилением и развитием рынка недревесной продукции. Издаются соответствующие учебные пособия, улучшается законодательство в соответствующей сфере, создаются профильные организации, такие как «Дикоросы России» или «Союз переработчиков дикоросов». Тем не менее существует еще множество направлений, которые необходимо развивать дабы полностью развить рынок дикоросов России. В условиях западных санкций и разворота Российской Федерации на Восток крайне важным также становиться вопрос о налаживании взаимовыгодных торгово-экономических связей со странами Дальнего Востока. Среди них в первую очередь стоит выделить Северо-Восточную Азию, которая является экономическим локомотивом Азиатско-Тихоокеанского региона. Соответственно, в данной работе рассмотрены способы развития экспортного потенциала рынка дикоросов России, с особым акцентом на государства Северо-Восточной Азии и перспективные направления развития сферы сбора и переработки недревесной лесной продукции в целом. В начале данной работы необходимо, прежде всего, определиться с сутью двух ключевых понятий, которые, соответственно, были вынесены в ее заголовок, а именно «Северо-Восточная Азия» и «недревесная продукция леса». Рассмотрим оба этих термина отдельно.

В качестве первого понятие выступает «недревесная продукция леса». Согласно определению, данному в 32 статье действующего Лесного кодекса Российской Федерации, в качестве таковых выступают валежник, пни, береста, кора деревьев и кустарников, хворост, веточный корм, еловая, пихтовая, сосновая лапы, ели или деревья других хвойных пород для новогодних праздников, мох, лесная подстилка, камыш, тростник и подобные лесные ресурсы. Хоть данное определение и кажется весьма широким, его сложно назвать полностью удовлетворительным, особенно в контексте вопроса об экономическом использовании рассматриваемых ресурсов, так как под весьма размытым термином «подобные лесные ресурсы» скрывается весьма широкая номенклатура, которую стоит рассмотреть подробно. В первую очередь, в качестве недревесных ресурсов леса, имеющих экономический экспортный потенциал, стоит выделить лекарственное сырье, куда относятся как части организмов диких лесных животных и птиц, так и растения и грибы [11]. Стоит отметить, что в данной работе основное внимание уделено недревесным ресурсам леса растительного, а не животного происхождения. Подобное сырье может использоваться как для производства конвенциональной фармакологии, так и для изготовления средств традиционной народной медицины. Стоит также отметить, что лекарственное сырье используется не только в сфере непосредственной медицины, но также, часто применяется при изготовлении различных гигиенических и косметических продуктов. Другим направлением развития экспорта развития российских недревесных ресурсов леса в Северо-Восточную Азию являются пищевые ресурсы. Пищевые дикоросы также отличаются высоким разнообразием, включая в себя, в первую очередь ягоды, грибы, а также семена кедрового ореха, некоторые виды папоротников [2]. Их можно не только экспортировать в изначальном виде, но и добавлять в другую пищевую продукцию, получая новый товар. В Китае российский кедровый орех очень популярен, он используется не только в пищу, но и в составе целого ряда медицинских и тонизирующих продуктов. В качестве третьего типа недревесной продукции леса стоит выделить техническое сырье. Стоит отметить, что дичь и рыбу, также шкуры лесных животных также можно отнести к ценным недревесным ресурсам леса, но как уже было сказано выше, в данной работе акцент сделан прежде всего на продукции растительного происхождения. В список недревесных лесных ресурсов леса можно включить также природное топливо (валежник), кормовые ресурсы (цветущие растения для пчел, дикие травы для части домашних животных), сырье для изделий декоративного характера (новогодние елки, растения или их части необычной формы) [14], но эти недревесные лесные ресурсы либо невозможно экспортировать в принципе, либо их экспорт не может быть хоть сколько-нибудь стабильным и рентабельным.

Помимо уже разобранных выше материальных недревесных ресурсов, лес обладает также нематериальным ресурсным потенциалом, в первую очередь рекреационно-туристическим. Несмотря на то, что лес больше столетия используется как место рекреации, осознание леса как фактора потенциального туристического продукта для внутреннего и внешнего потребителя пришло лишь недавно. Проблемы экологического характера занимают важное место в сознании населения в любой развитой страны. Особенно это актуально и для Северо-Восточной Азии, где в угоду ускоренным темпам индустриализации, урбанизации и модернизации нужды охраны природы долгое время сознательно игнорировались. В результате сформировался большой запрос на товары из натуральных материалов, а также путешествия в места с малоизмененной или нетронутой природной средой. Развивая экспорт материальной недревесной продукции леса в страны Северо-Восточной Азии возможно, стоит также подумать и об экспорте лесных туристических продуктов. Возможно создание «эко-туров», посетители которых смогут не только отдохнуть в природных условиях, но и ближе прикоснуться к природе через сбор грибов и ягод, наблюдение за животными, поездки к живописным природным местам и многое другое. При этом, сразу стоит отметить, что и данная сфера потребует для своего дальнейшего развития определенных материальных вложений. Необходимо создание доступной инфраструктуры, включающей в себя транспорт, места размещения, специальные маршруты и тропы, меры по защите от диких животных и много другое. Необходимо также тщательно соблюдать баланс в рекреационном использовании леса, соизмеряя количество посещений с возможностями леса по самовосстановлению, чтобы предотвратить его возможную гибель и деградацию [13].

К сожалению, сам факт произрастания недревесных ресурсов леса в диких условиях, а также споры о их точной номенклатуре и недостаточная изученность этого вопроса в целом не позволяют в этой работе представить широкий спектр статистики по всем вышеописанным направлением, поэтому анализ будет ограничен лишь сферой недревесных пищевых ресурсов России, но и он помогает увидеть общую картину текущего положения отрасли и дальнейших перспектив ее развития [3].

Таблица 1. Недревесные пищевые лесные ресурсы России и степень их освоенности

Вид пищевых ресурсов	Запасы, млн. т.	Освоено, млн. т.	Степень освоенности, %
Грибы	3,5	0,35	10%
Орехи сосны кедровой	0,99	0,04	4,04%
Брусника	3	0,045	1,5%
Черника	2,69	0,035	1,3%
Клюква	1,6	0,04	2,5%
Голубика	1,02	0,015	1,47%
Морошка	0,45	0,002	0,44%
Малина	0,14	0,005	3,57%
Прочие ягоды	0,42	0,008	1,9%

Как видно из данных, представленных в Таблице 1, все основные недревесные пищевые лесные ресурсы России крайне недоиспользованы. Лишь степень освоенности грибов достигает 10%, все остальные не достигают и 5%. Даже с учетом того, что это общие биологические запасы, а не только эксплуатационные ресурсы, такой показатель можно расценить как крайне малый. Даже несмотря на то, что количество собираемых пищевых ресурсов леса населением для собственных нужд, и для частной перепродажи никак не учитывается. Перейдем к подробному рассмотрению исследуемого в этой работе региона-импортера.

Вторым ключевым понятием для данной работы является регион, в разрезе экономического сотрудничества, с которым рассмотрена вышеуказанная сфера недревесной лесной продукции. Этот регион – Северо-Восточная Азия. Общепринято, что в состав его

входят следующие государства: Монголия, Китайская Народная Республика (КНР), Корейская Народно-Демократическая Республика (Северная Корея), Республика Корея (РК) и Япония. В рамках данной статьи было решено сконцентрироваться прежде всего на трех из вышеперечисленных: КНР, РК и Япония. Таковой выбор определен тем, что по своему социально-экономическому положению данные государства представляют собой наиболее перспективные рынки для российского экспорта, включая также сферу недревесных ресурсов леса. В данной работе, термин «Северо-Восточная Азия» будет обозначать именно эти три государства. При этом, стоит отметить, что из КНР, РК и Японии, наиболее приоритетным рынком для экспорта дикоросов России является, безусловно, Китай. Несмотря на более низкие чем в Республике Корея и Японии показатели доходов граждан, КНР обладает целым рядом преимуществ, среди которых стоит выделить то, что в отличии от РК и Японии Китай не вводил санкций против России и не присоединялся ко вторичным санкциям, что значительно улучшает экономический климат в отношении наших стран. Также в пользу КНР говорят развитые каналы экономического сотрудничества между нашими странами, а также глубокий интерес и доверие к российским брендам, особенно в сфере экологически-чистой продукции.

Для того, чтобы лучше понять дальнейшие возможности развития экономического сотрудничества с государствами Северо-Восточной Азии в области недревесной продукции, необходимо, помимо анализа имеющихся у Российской Федерации ресурсов, следует произвести также анализ потребностей потенциальных стран реципиентов. Традиционные медицинские практики народов Дальнего Востока, известные также под общим названием Восточная медицина. В сфере лекарственных препаратов, Восточная медицина широко использует большое количество недревесных ресурсов леса, часть которых произрастает и в России, прежде всего на территории Сибири и Дальнего Востока, к примеру женьшень и чага. В Китае традиционная медицина сейчас активно развивается, получая широкую государственную поддержку [8]. К ее применению на основе современных научных данных неоднократно призывал глава КНР Си Цзиньпин. Но и за пределами традиционных медицинских практик дикоросы являются весьма ценным экспортным продуктам, так как и в современной фармакологии они находят свое употребление в качестве сырья для изготовления определенных медицинских препаратов. Также стоит отметить, что медицинские растения могут также служить для изготовления профилактических средств и биологически активных добавок (БАД), употребление которых также распространено среди жителей Северо-Восточной Азии. Наконец, лекарственные травы, как говорилось выше, также часто входят в составы ряда косметических средств. Развитие линеек подобной «натуральной» продукции, ориентированной на экспорт, в особенности в страны Азии – одна из возможных стратегий развития экономического сотрудничества со странами региона в сфере недревесной продукции леса. Одним из самых перспективных направлений российского экспорта в рассматриваемый регион в сфере дикоросов является пищевая продукция. Большим потенциалом роста, как и в случае с лекарственными травами обладает стратегия создания специальных линеек продукции с использованием пищевых дикоросов. Реализация в Китае возможна в первую очередь через магазины «Сделано в России» которые развивают сейчас в КНР при активной поддержке таких организаций как Российский экспортный центр. Препятствием здесь может служить довольно существенная разница во вкусовых предпочтениях народов России и Северо-Восточной Азии, поэтому для продвижения российских пищевых дикоросов на этом рынке необходимо проводить специальные исследования вкусов и предпочтений потребителей.

Помимо большей ориентации на новые, перспективные рынки, для своего дальнейшего развития сфере сбора и переработки недревесных ресурсов леса в России необходимы также серьезные внутренние изменения. Какие ключевые пункты можно здесь выделить? В первую очередь, следует рассмотреть вопрос создания цепочек добавленной стоимости на базе добычи недревесной продукции. Когда мы говорим о возможностях наращивания экспорта недревесной продукции леса, следует думать не только о перспективах вывоза самих по себе

ресурсов, но и использования их для создания готовой продукции и полуфабрикатов, тем самым увеличивая их добавленную стоимость и, соответственно, доход от их продажи. К примеру, Россия экспортирует более 11 тысяч тонн кедрового ореха в КНР. Значительная его часть на территории Китая перерабатывается в различные профилактические и лекарственные средства. Часть из их, впоследствии идет на экспорт в саму Россию. Если же на территории нашей страны будут освоены технологии соответствующей продукции это поможет значительно увеличить долю добавленной стоимости, остающейся внутри страны, и создаст новые рабочие места [12]. Подобные производства лучше всего объединять в специальные кластеры на базе современного оборудования и строить длинные цепочки добавленной стоимости внутри страны. Таковые кластеры лучше размещать в промышленно-развитых городах, находящихся в относительной близости от источников своего сырья, то есть дикоросов. Создание малых предприятий на базе сельских населенных пунктов и малых городов видится малоперспективным, и скорее будет отвлекать потенциальную рабочую силу от сбора недревесных ресурсов, но не принесет особого дохода и пользы. Наиболее перспективно в них будет производить необходимую первичную обработку, такую как сушка, очистка от лишних элементов, но не создание продукции высокой степени переработки. Малые населенные пункты стоит сделать именно ресурсными центрами, стимулом для них должен стать рост спроса на их сырье вследствие увеличения продажи готовой продукции выше по цепочке добавленной стоимости.

Во-вторых, необходимы также серьезные изменение системы добычи недревесной продукции леса. Акцент здесь должен быть сделан, прежде всего, на механизацию и организационные улучшения самого процесса сбора ресурсов [9]. В настоящий момент, значительная часть сбора осуществляется индивидуально сельскими жителями, зачастую пенсионного возраста, которые добывают эти ресурсы как для личного пользования, так и для торговли, чаще всего носящей неофициальный характер. Во многих регионах России существуют особые заготовительные конторы, которые специализируются на выкупе одного и более видов недревесного природного ресурса у населения. По имеющейся информации, в сезоны сбора дикоросов могут развертываться до 18 тысяч подобных пунктов разных масштабов. К сожалению, на данный момент из-за неконкурентоспособных закупочных цен, многие сборщики обходят заготовительные конторы стороной, и осуществляют продажу дикоросов индивидуально другим местным жителям или туристам. Также большинство этих пунктов было создано еще во времена Советского Союза и с тех пор многие из них ни разу не проходили через сколько-нибудь серьезную модернизацию. Путей выхода из этой ситуации может быть сразу несколько. Во-первых, необходимо за счет, в первую очередь, средств цифровизации снижать бюрократическую волокиту, налаживать прямые связи между заготовительными конторами и фирмами, которым необходимы недревесные ресурсы леса. Во-вторых, за счет увеличения доли продукции с высокой добавленной стоимостью и расширения выходов на новые перспективные рынки необходимо повышать закупочные цены, дабы сделать сдачу недревесных ресурсов леса в заготовительные конторы более выгодной, чем индивидуальную торговлю. В-третьих, более широкое привлечения населения к работе с заготовительными конторами, устройство акций и семинаров, информирующих населения о преимуществах сотрудничества с заготовительными конторами.

Другим путем улучшения производительности недревесной лесной продукции может быть ее искусственное выращивание. Выращивание леса на специализированных лесных плантациях уже стало обычной мировой практикой и постепенно проникает в Россию [4-7], тем не менее практика выращивания недревесной лесной продукции леса еще слабо распространена. В ряде стран Азии, в первую очередь в Южной Кореи и Китае активно развивается культивация женьшеня. Хотя искусственно выращенные корни женьшеня ценятся меньше, чем природные, они активно присутствуют на рынке и пользуются спросом. Это поможет не только значительно улучшить организацию сбора, но и позволит осуществлять селекцию и другие научные исследования по улучшению их качественных свойств, а также позволит существенно снизить нагрузку на природные ресурсы леса. Следует стремиться

выращивать на плантациях прежде всего те растения, которые редки и медленно восстанавливают свои запасы в природе, при этом на них имеется спрос как на отечественных, так и на зарубежных рынках. В связи с рассматриваемым вопросом стоит также подумать о налаживании сотрудничества в этой сфере с опытными коллегами из Северо-Восточной Азии, заимствования опыта, и, возможно, создании соответствующих совместных предприятий. Даже с учетом того, что на данный момент, как видно по таблице 1, количество изымаемого природного ресурса так мало, что не может серьезно помешать процессам их естественного восстановления, безусловно именно сфера культивации должна стать одним из столпов дальнейшего экономического освоения недревесных ресурсов российских лесов.

Для дальнейшего качественного развития отрасли на основе передовых практик необходима также крепкая исследовательская база. По словам председателя ассоциации «Дикоросы» Александра Деева, на данный момент большое количество растений, имеющих полезные медицинские свойства никак не эксплуатируются, так-как сведения о способах и возможностях их применения утеряны или не существуют в принципе. Для того, чтобы повысить список собираемых недревесных лесных ресурсов, особенно в медицинской сфере, необходимо тесное сотрудничество предпринимателей, занимающихся сбор и обработкой дикоросов с одной стороны, а также университетов и научно-исследовательских лабораторий с другой. Такое сотрудничество не может не быть взаимовыгодным, так как одни смогут расширить номенклатуру своих товаров, а другие получат широкое поле для практического внедрения своих разработок. Немаловажным может стать также обращение к «народной мудрости», так-как возможно местное сельское население еще частично сохранило определенные знания о полезных свойствах тех или иных трав, грибов, ягод, папоротников, и эти сведения можно будет впоследствии подтвердить или опровергнуть по результатам научно-исследовательских работ. Возможным важным шагом станут специализированные курсы повышения квалификации для сотрудников лесной отрасли по тематике недревесной лесной продукции леса, семинары для предпринимателей и работников индустрии, которые помогли бы последним налаживать сотрудничество и осваивать передовые методы хозяйствования в сфере дикоросов.

Российские леса являются ценными источниками дикоросов, при этом на данный момент недревесные лесные ресурсы являются крайне недоиспользованными. Сфера дикоросов является весьма перспективной, обладая, в том числе, серьезным экспортным потенциалом, который еще мало освоен. Чтобы улучшить ситуацию необходимо предпринять целый ряд мер, как-то: искусственное выращивание дикоросов, улучшение рабочего процесса заготовительных контор, создание на базе недревесной лесной продукции товаров с более высокой добавленной стоимостью. Другим важным фактором является поиск новых рынков. Одним из самых перспективных рынков для российских недревесных лесных продуктов является регион Северо-Восточной Азии, конкретно такие страны как Китайская Народная Республика, Республика Корея, Япония. Дабы российская продукция смогла успешно закрепиться на этих рынках необходимо тщательно ориентироваться на запросы местного потребителя, развивать новые линейки продукции, повышать узнаваемость и доверие к брендам российской продукции из натуральных ингредиентов.

Список литературы

1. Абрамова Е.Е., Абрамова Н.И., Мариничева Т.В. Оценка урожайности и разработка инновационной технологии переработки недревесной продукции леса в Михайловском районном лесничестве // Лесное хозяйство: стратегия и перспективы развития. Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической онлайн конференции с международным участием. Нижний Новгород, 2025. С. 484-493.
2. Викулова О.И. Особенности учёта, использования и маркетинга дикорастущей продукции леса // Технологические тренды устойчивого функционирования и развития

АПК. материалы Международной научно-практической конференции, посвященной году науки и технологии в России. Ижевск, 2021. С. 211-214.
3. Воеводина К.И., Абсалямов Р.Р., Абсалямова С.Л. Проблемы и перспективы использования недревесных ресурсов леса // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства. Материалы Международной научно-практической конференции: в 3 томах. ФГБОУ ВО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. 2018. С. 155-158.
4. Гаспарян Г.Д., Давтян А.Б., Григорьев И.В., Марков О.Б., Григорьева О.И. Численное исследование показателей заготовки древесины на лесных плантациях // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 4. С. 17-45.
5. Григорьев И.В., Давтян А.Б., Григорьева О.И. Выбор системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 255-летию Землеустройству Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 271-278.
6. Давтян А.Б., Григорьева О.И., Григорьев И.В. Энергетические лесные плантации для эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения в РФ // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн. материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 2022. С. 42-45.
7. Давтян А.Б., Григорьева О.И., Николаева Ф.В., Нгуен Т.Н. Мобильные технологии для мониторинга и управления процессами выращивания и эксплуатации лесных плантаций // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Ответственные редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. 2020. С. 132-135.
8. Журавлев А.К., Голубев Ю.Ю. Раннее проявление болезней старения, возможности классической и традиционной восточной медицины в профилактике и реабилитации // Человек, здоровье, физическая культура и спорт в изменяющемся мире. XXVI Международная научно-практическая конференция по проблемам физического воспитания учащихся (Материалы конференции). 2016. С. 55-58.
9. Куницкая О.А., Степанова Д.И., Григорьев М.Ф. Транспортно-технологические системы для сбора и переработки пищевой продукции леса // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. 2018. С. 102-108.
10. Олейник Д.Ф., Олейник Н.Д. Недревесная продукция лесов архангельской области: традиции, проблемы и потенциал использования // Роль традиций и инноваций в устойчивом развитии современной науки. Сборник статей VII международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2025. С. 8-10.
11. Панин И. А., Белов Л. А. Определение ресурсов дикорастущих пищевых и лекарственных растений: учебное пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. - 87 с.
12. Протопопова Г.А., Самсонова И.В. Дикоросы как ресурс: социологический взгляд на сбор и реализацию в Республике Саха (Якутия) // Арктический вектор: продовольственная безопасность в Арктике. Материалы VI межрегиональной научно-практической конференции. Якутск, 2024. С. 119-125.
13. Солнцева Е.С., Григорьева О.И., Должиков И.С., Михайлова Л.М. Влияние рекреационной нагрузки на биологическую активность почв городского парка // Безопасность и охрана труда в лесозаготовительном и деревообрабатывающем производствах. 2024. № 5 (17). С. 14-23.
14. Ширнин Ю.А., Григорьев И.В., Жукова А.И., Никифоров А. А. Лесное ресурсоведение: учебное пособие. Йошкар-Ола, 2012. -356 с.

References

1. Abramova E.E., Abramova N.I., Marinicheva T.V. Yield assessment and development of innovative technology for processing non-timber forest products in the Mikhailovsky district forestry // Forestry: strategy and development prospects. Collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical online conference with international participation. Nizhny Novgorod, 2025. pp. 484-493.
2. Vikulova O.I. Features of accounting, use and marketing of wild forest products // Technological trends in the sustainable functioning and development of agriculture. proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Science and Technology in Russia. Izhevsk, 2021. pp. 211-214.
3. Voevodina K.I., Absalyamov R.R., Absalyamova S.L. Problems and prospects of using non-timber forest resources // Innovative technologies for the implementation of the program of scientific and technical development of agriculture. Materials of the International Scientific and Practical Conference: in 3 volumes. Izhevsk State Agricultural Academy. 2018. pp. 155-158.
4. Gasparyan G.D., Davtyan A.B., Grigorev I.V., Markov O.B., Grigoreva O.I. Numerical study of wood harvesting indicators on forest plantations // Resources and Technology. 2021. Vol. 18. No. 4. pp. 17-45.
5. Grigorev I.V., Davtyan A.B., Grigoreva O.I. The choice of a system of machines for the creation and operation of forest plantations // Land management, land management, cadastre, geodesy and cartography. Problems and prospects of development. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 255th anniversary of the Land Management of Yakutia and the Year of Science and Technology. Yakutsk, 2021. pp. 271-278.
6. Davtyan A.B., Grigoreva O.I., Grigorev I.V. Energy forest plantations for effective involvement in the turnover of agricultural land in the Russian Federation // Forest engineering, materials science and design. Proceedings of the 86th Scientific and Technical Conference of faculty, researchers and postgraduates (with international participation). Minsk, 2022. pp. 42-45.
7. Davtyan A.B., Grigoreva O.I., Nikolaeva F.V., Nguyen T.N. Mobile technologies for monitoring and managing the processes of growing and operating forest plantations // Innovations in the chemical and forestry complex: trends and development prospects. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference. Responsible editors Yu.A. Bezrukikh, E.V. Melnikova. 2020. pp. 132-135.
8. Zhuravlev A.K., Golubev Yu.Y. Early manifestation of aging diseases, the possibilities of classical and traditional oriental medicine in prevention and rehabilitation // Man, health, physical culture and sport in a changing world. XXVI International Scientific and Practical Conference on the problems of physical education of students (Conference materials). 2016. pp. 55-58.
9. Kunitskaya O.A., Stepanova D.I., Grigorev M.F. Transport and technological systems for collecting and processing forest food products // Energy efficiency and energy conservation in modern production and society. Materials of the international scientific and practical conference. Under the general editorship of V.A. Gulevsky. 2018. pp. 102-108.
10. Oleynik D.F., Oleynik N.D. Non-wood products of forests of the Arkhangelsk region: traditions, problems and potential of use // The role of traditions and innovations in the sustainable development of modern science. Collection of articles of the VII International Scientific Conference. Saint Petersburg, 2025. pp. 8-10.
11. Panin I. A., Belov L. A. Determining the resources of wild food and medicinal plants: a textbook. Yekaterinburg: UGLTU, 2022. 87 p.

12. Protopopova G.A., Samsonova I.V. Wild plants as a resource: a sociological view on collection and sale in the Republic of Sakha (Yakutia) // Arctic vector: food security in the Arctic. Materials of the VI interregional scientific and practical conference. Yakutsk, 2024. pp. 119-125.
13. Solntseva E.S., Grigoreva O.I., Dolzhikov I.S., Mikhailova L.M. The influence of recreational stress on the biological activity of urban park soils // Occupational safety and health in the logging and woodworking industries. 2024. No. 5 (17). pp. 14-23.
14. Shirnin Yu.A., Grigoriev I.V., Zhukova A.I., Nikiforov A. A. Forest resource science: a textbook. Yoshkar-Ola, 2012. 356 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_229-234
УДК 630-152.6:314.1

ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАДРОВУЮ СИТУАЦИЮ В ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ

Гурченко В.И., Яковенко Н.В.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Саранск
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация.

В статье анализируется влияние демографических факторов на кадровую ситуацию в лесной отрасли России. Рассматриваются системные проблемы, вызванные демографическим спадом, старением персонала и снижением привлекательности лесных профессий среди молодежи. Особое внимание уделяется статистике кадрового дефицита, который достигает 12 тысяч специалистов, а также проблемам в системе образования, включая снижение качества подготовки и недостаточное финансирование вузов. Исследуются региональные особенности кадрового кризиса и предлагаются возможные пути решения, включая меры поддержки молодых специалистов, технологическую модернизацию и привлечение иностранной рабочей силы. Статья основана на актуальных данных и отражает комплексный взгляд на демографические вызовы в лесопромышленном комплексе.

Ключевые слова: демография, лесная отрасль, кадровый дефицит, лесное хозяйство, молодые специалисты, старение персонала, региональные проблемы, производительность труда

DEMOGRAPHIC FACTORS AND THEIR IMPACT ON THE PERSONNEL SITUATION IN THE FORESTRY SECTOR

Gurchenko V.I., Yakovenko N.V.

National Research Mordovian State University, Saransk
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.

The impact of demographic factors on the personnel situation in the Russian forestry industry is analysed. The systemic problems caused by demographic decline, staff aging, and a decrease in the attractiveness of forestry professions among young people are considered. Special attention is paid to the statistics of staff deficit, which reaches 12 thousand specialists, as well as to problems in the education system, including the decline in the quality of training and insufficient funding of universities. Regional features of the personnel crisis are explored, and possible solutions are proposed, including measures to support young specialists, technological modernization, and attracting foreign labour. The article is based on current data and reflects a comprehensive view of demographic challenges in the forestry sector.

Keywords: demography, forestry sector, personnel shortage, forestry, young specialists, staff aging, regional problems, labour productivity

Современная лесная отрасль России переживает парадоксальный момент: несмотря на внедрение передовых технологий и рост производственных мощностей, она сталкивается с

© Гурченко В. И., Яковенко Н. В., 2025

острой нехваткой квалифицированных специалистов. Демографические провалы 1990-х, старение кадров и отток молодежи в города создали идеальный шторм, последствия которого ощущаются от лесничеств Карелии до целлюлозно-бумажных комбинатов Урала.

Сокращение численности населения в активном трудоспособном возрасте стало одним из ключевых факторов текущего кризиса [1].

Статистика Росстата подтверждает эти тревожные тенденции: в 2022 году естественная убыль населения достигла почти 600 тысяч человек, а рождаемость снизилась на 6,9%, составив 1,306 млн человек — минимальный показатель с 2000 года.

Средний возраст работников лесной отрасли неуклонно увеличивается. В Карелии, например, он составляет 45 лет, а в лесничествах достигает 47 лет. При этом 48% специалистов имеют стаж работы более 15 лет, что свидетельствует о низком притоке молодых кадров [2].

Молодые специалисты массово мигрируют в городские центры, не рассматривая вакансии в отдаленных лесных поселках с неразвитой социальной инфраструктурой. Усугубляет ситуацию и то, что 47% выпускников профильных учебных заведений не идут работать по специальности, считая профессию низкооплачиваемой и непрестижной.

Данные за 2024 год демонстрируют тревожную динамику. Потребность в новых кадрах компаний-лесопромышленников только в Северо-Западном федеральном округе достигла более 4,3 тыс. человек, а по России в целом — свыше 18 тыс. вакансий.

Спрос на персонал в лесной промышленности стремительно растет: в 2024 году в целом по стране он увеличился на 57% по сравнению с предыдущим годом, а в некоторых регионах, таких как Ленобласть и Новгородская область, рост составил +73% и +110% соответственно [3].

Современная лесная отрасль требует не только традиционных специалистов, но и совершенно новых профессий. Внедрение инновационных технологий и цифровизация сформировали спрос на операторов комплексных систем и БПЛА, программистов, 3D-инженеров, проектировщиков.

Наиболее востребованными в 2024 году стали (Рис.1).

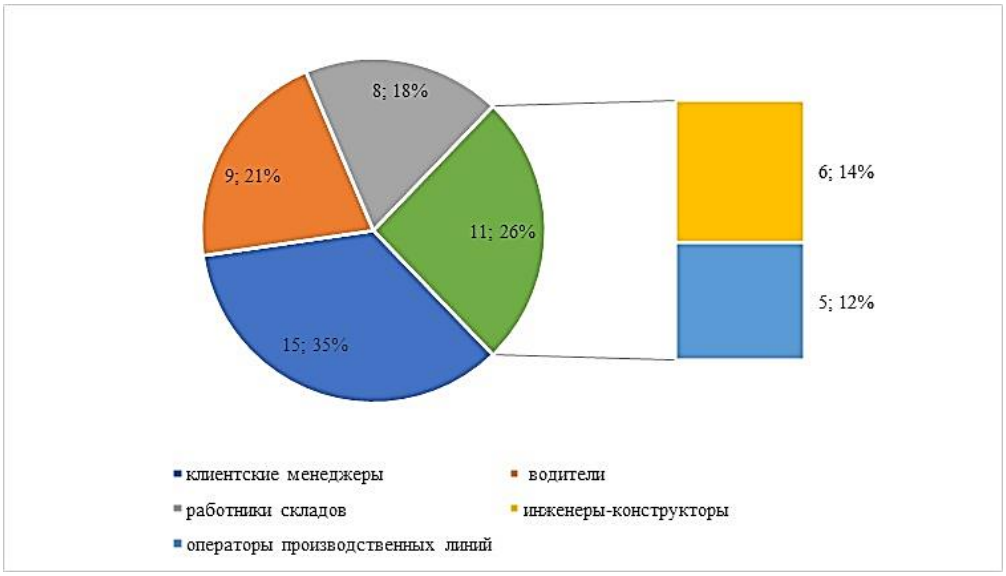


Рисунок 1. Наиболее востребованные профессии, 2024 г.

Как показывает диаграмма, вместе перечисленные пять специальностей составляют менее половины (43%) от общего спроса на кадры. Наибольший удельный вес занимают клиентские менеджеры (15%), что может свидетельствовать о растущей ориентации отрасли на сбыт и маркетинг. При этом значительную долю (57%) формирует совокупность других

специальностей, что подчеркивает разнообразие профессий, востребованных в современном лесопромышленном комплексе.

Современная кадровая ситуация в лесной отрасли демонстрирует сложную структурную трансформацию, где традиционные производственные потребности сочетаются с вызовами новой экономической реальности. Анализ распределения вакансий позволяет выявить системные сдвиги в приоритетах лесопромышленных предприятий.

Значительная доля обобщенной категории "другие специальности" подчеркивает многопрофильный характер современного лесопромышленного комплекса. Эта разнородная группа объединяет как традиционные профессии лесозаготовительного сегмента, так и специалистов по глубокой переработке древесины, что свидетельствует о продолжающейся диверсификации отрасли и ее ориентации на создание продукции с повышенной добавленной стоимостью.

Явный акцент на клиентских менеджерах указывает на стратегический переход от производственно-ориентированной модели к клиентоцентричной бизнес-парадигме. Компании активно развивают системы взаимодействия с потребителями, диверсифицируют каналы сбыта и формируют сервисную экосистему, что требует специализированных компетенций в области продаж и управления клиентским опытом.

Устойчивый спрос на логистический и складской персонал отражает критическую важность оптимизации цепочек поставок в отрасли, где работа с объемными и тяжелыми грузами определяет общую эффективность бизнеса. Сохраняющаяся потребность в инженерно-технических специалистах и операторах технологического оборудования демонстрирует продолжающуюся технологическую модернизацию производств, где физический труд постепенно замещается управлением сложными автоматизированными системами.

Таким образом, структура кадрового спроса в лесной отрасли представляет собой сложный симбиоз традиционных производственных компетенций и современных бизнес-навыков, где успех определяется сбалансированным развитием как операционной деятельности, так и рыночных стратегий.

Социально-экономические последствия демографического дисбаланса

Проблема «лесных поселков»

Моноэкономика лесных поселков создает глубокий структурный кризис на рынке труда, который проявляется в острой нехватке рабочих мест для значительной части сообщества. Поскольку от 60% до 80% экономики таких населенных пунктов завязано на лесной отрасли, возможности для трудоустройства женщин, молодежи и специалистов других профессий крайне ограничены. Это приводит к устойчивому и усиливающемуся оттоку населения, особенно молодого и образованного. Исследования показывают, что до 70% молодежи в таких поселках не видят для себя перспектив и планируют уехать, что запускает цепную реакцию социального упадка. Закрываются школы и поликлиники, падает качество жизни, что, в свою очередь, подталкивает к отъезду и тех, кто оставался. За последние десятилетия многие лесные поселки потеряли до половины своего населения, превращаясь в депрессивные зоны.

Благополучие оставшихся жителей всецело зависит от окружающих лесных ресурсов, которые служат одновременно и средой обитания, и основным источником дохода. Эта зависимость формирует хрупкую и неустойчивую модель существования. От 70% до 90% местного бюджета формируются за счет нескольких лесопромышленных предприятий, что делает всю социальную и коммунальную инфраструктуру заложником конъюнктуры мировых цен на древесину. Колебания спроса или введение ограничений на экспорт мгновенно оборачиваются кризисом: остановками производства, задержками зарплат и сокращением налоговых поступлений. Кроме того, благополучие поселка напрямую увязано с экологическим состоянием лесов. Их истощение в доступной близости, крупные пожары или вспышки болезней леса не только наносят экологический ущерб, но и подрывают саму экономическую основу жизни сообщества, не оставляя ему альтернатив для развития.

Низкая конкурентоспособность условий труда. Низкая конкурентоспособность условий труда в лесной отрасли проистекает из ее фундаментальной проблемы — хронически низкой оплаты труда. Яркий пример из Карелии, где инспектору лесничества предлагают зарплату в 21 834 рубля, а водитель лесовоза зарабатывает от 100 тысяч, служит иллюстрацией глубокого системного кризиса. Этот контраст — не просто случайная диспропорция, а симптом перекошенной системы отраслевых приоритетов.

Инспектор лесничества, несущий ответственность за сохранность и воспроизводство ценного ресурса, обладает специальными знаниями и выполняет функции надзора. Однако его труд, по сути являющийся инвестицией в будущее лесов, финансируется по остаточному принципу и оценивается на уровне прожиточного минимума. В то же время труд водителя, напрямую связанный с сиюминутной коммерческой добычей и транспортировкой древесины, оплачивается рыночной экономикой, что и объясняет высокий доход.

Возникающая диспропорция порождает порочный круг. Государственная структура, отвечающая за охрану леса, не может конкурировать на рынке труда и привлекать квалифицированных специалистов. Это приводит к «утечке мозгов», старению кадров и общей деквалификации персонала. Критически низкий уровень доходов сотрудников, в чьи обязанности входит контроль над дорогостоящим ресурсом, создает питательную среду для коррупционных рисков, когда взятка может стать более привлекательной, чем сама зарплата. В конечном счете, ослабление лесной охраны напрямую ведет к росту незаконных рубок, нарушениям правил восстановления леса и повышению рисков лесных пожаров.

Фундаментальной причиной этой ситуации является разрыв между коммерческой эксплуатацией леса и его государственным управлением. Бизнес, ориентированный на прибыль, извлекает доход из ресурса, а финансирование системы, которая этот ресурс сохраняет и воспроизводит, ложится на бюджет, хронически недофинансирующий эту сферу. Таким образом, проблема зарплат — это лишь верхушка айсберга, за которой скрывается структурный конфликт между краткосрочной выгодой и долгосрочной экологической и экономической устойчивостью отрасли [4,5].

Вице-премьер правительства РФ Виктория Абрамченко отметила: «Главной задачей для нас является вопрос сохранения кадрового потенциала в отрасли. Если не будет специалистов-лесников на земле, у нас ничего не получится. Государство должно обеспечить защиту таких людей и гарантировать им достойную заработную плату» [6].

Пути решения кадровых проблем

В условиях дефицита кадров все более актуальной становится профессиональная переподготовка специалистов из смежных отраслей. В условиях нарастающего кадрового дефицита в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) профессиональная переподготовка специалистов из смежных отраслей приобретает критическую важность. Для системного решения проблемы необходимо создание отраслевого центра образовательных компетенций, который не только позволит привлечь молодежь, но и станет ключевым элементом в преодолении общеотраслевого кризиса квалифицированных кадров. Лесопромышленные компании активно меняют подходы к найму. В 2024 году отмечается значительный рост вакансий с гибким графиком работы (+50%) и вахтовым методом (+53%). Медианная предлагаемая зарплата в отрасли превысила 73 тыс. руб., что на 11,6 тыс. больше, чем в предыдущем году. Рассматривается и возможность привлечения специалистов из дружественных стран. Российско-Вьетнамская Торговая Федерации предложила рассмотреть привлечение специалистов из Вьетнама, отмечая их «высокую производительность труда» и «большой спектр рабочих специальностей».

На основе анализа текущих данных о состоянии лесопромышленного комплекса (ЛПК) России можно выделить несколько ключевых демографических и кадровых вызовов, системно влияющих на отрасль. Основные проблемы и тенденции структурированы в следующей таблице.

Таблица 1 -Основные проблемы и тенденции кадровой обеспеченности лесопромышленного комплекса

Аспект анализа	Ключевые проблемы и тенденции	Релевантные данные
Общий кадровый спрос	Сокращение общего числа вакансий при росте спроса в отдельных регионах и на конкретные профессии.	В 1 кв. 2025 г. общее количество вакансий в отрасли сократилось на 8% год к году.
Региональная динамика	Неоднородность кадрового спроса по регионам.	Лидеры по росту спроса: Калужская обл. и Республика Коми (+40%), Томская обл. (+30%), Ленинградская обл. (+28%).
Структура спроса на профессии	Резкий рост потребности в рабочих специальностях при сокращении спроса на часть инженерно-технических кадров.	Спрос вырос на: механиков (+202%), разнорабочих (+61%), электромонтажников (+42%). Спрос снизился на: инженеров-конструкторов (-22%), сервисных инженеров (-38%).
Системные причины дефицита	Низкий престиж профессий, снижение качества подготовки, низкий уровень оплаты труда.	Проходной балл в профильные вузы едва достигает 50. Лесная отрасль остается одной из самых низкооплачиваемых.
Подготовка кадров	Критическая нехватка практико-ориентированных выпускников, отсутствие программ бакалавриата по деревообработке.	Предприятия испытают острую потребность в выпускниках, готовых к практической работе.

Лесная отрасль России столкнулась с системным кадровым кризисом, корни которого лежат в сложном переплетении демографических тенденций, структурных проблем экономики лесных регионов и устаревшего имиджа самой отрасли. Демографическое давление, выражающееся в оттоке молодежи и сокращении трудоспособного населения из лесных поселков, усугубляется их моноэкономической зависимостью и хроническим недофинансированием социальной инфраструктуры. В результате отрасль испытывает острую нехватку не только квалифицированных рабочих, но и современной инженерной мысли, способной вывести ее на новый технологический уровень.

Преодоление этого вызова требует стратегического, комплексного ответа, направленного на разрыв порочного круга. Ключевым условием является переход от экстенсивной модели, основанной на эксплуатации ресурсов, к интенсивной, ориентированной на развитие человеческого капитала. Это предполагает синхронную работу по трем направлениям: кардинальное повышение привлекательности жизни в лесных регионах через инвестиции в их социальную и коммунальную инфраструктуру; глубокая технологическая модернизация и переход к высокопередельным производствам, которые создают высокооплачиваемые и технологичные рабочие места; и коренная реформа системы профессионального образования, нацеленная на опережающую подготовку кадров для лесной отрасли будущего.

Только такой интегрированный подход, объединяющий усилия государства, бизнеса и образовательных институтов, позволит превратить угрозу «кадрового голода» в возможность для качественного преобразования отрасли. Конечной целью является создание устойчивой экосистемы, где лес воспринимается не только как источник сырья, но и как основа для жизни и профессиональной реализации современного, высококвалифицированного и мотивированного сообщества.

Список литературы

1. Яковенко, Н. В. Теоретико-методологические подходы к исследованию депрессивных регионов России / Н. В. Яковенко, Ю. В. Поросенков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 10-21.

2. Кадровый дефицит в лесной отрасли: есть решение? // Лесной комплекс. - 2025. - 26 февраля. - URL: https://forestcomplex.ru/article/12345 (дата обращения: 15.09.2025).

3. Кадровый голод в лесной промышленности: как справляются предприятия? // Лесной комплекс. - 2024. - 23 июля. - URL: https://forestcomplex.ru/article/12346 (дата обращения: 15.06.2025).

4. Кадровый дефицит: за кем будущее ЦБП в России? // Лига ЦБП. - 2024. - URL: https: //liga-pm.ru/article/12347 (дата обращения: 15.08.2025).

5. Татьяна Гигель: «Лесная отрасль должна занять достойное место в экономике страны» // Леспроминформ. - 2024. - URL: https://lesprominform.ru/article/12348 (дата обращения: 15.08.2025).

6. Абрамченко В. В. Выступление заместителя Председателя Правительства Российской Федерации на заседании Совета Федерации // Официальный сайт Правительства РФ. - 2024. - URL: https://government.ru/persons/505/ (дата обращения: 05.09.2025).

References

1. Yakovenko, N. V., & Porosenkov, Y. V. (2013). Teoretiko-metodologicheskie podkhody k issledovaniyu depressivnykh regionov Rossii [Theoretical and methodological approaches to the study of depressed regions of Russia]. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, (2), 10–21.

2. Staff shortage in the forestry sector: Is there a solution? (2025, February 26). Lesnoy Kompleks. Retrieved September 15, 2025/. - URL: https://forestcomplex.ru/article/12345

3. Staff famine in the timber industry: How are enterprises coping? (2024, July 23). Lesnoy Kompleks. Retrieved June 15, 2025. - URL: https://forestcomplex.ru/article/12346

4. Staff shortage: Who is the future of the pulp and paper industry in Russia? (2024). Liga TsBP. Retrieved August 15, 2025. - URL: https://liga-pm.ru/article/12347

5. Gigel, T. (2024). Tatiana Gigel: "The forest industry must take its rightful place in the country's economy." Lesprominform. Retrieved August 15, 2025. - URL: https://lesprominform.ru/article/12348.

6. Abramchenko, V. (2024, September 15). *V Sovete Federatsii vystupila zamestitel' Predsedatelya Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii V. Abramchenko* [Deputy Prime Minister of the Russian Federation V. Abramchenko spoke in the Federation Council]. Government of the Russian Federation. Retrieved October 5, 2025. - URL: https://government.ru/persons/505/.

DOI: 10.58168/Forestry2025_235-240
УДК 338.1

ПРОБЛЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РФ

И.С.Зиновьева, д.э.н., профессор
П.С. Терехова, студент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Аннотация. Инновационная деятельность играет ключевую роль в экономическом росте как на уровне отдельных предприятий, так и на уровне всей страны. Поэтому рациональное распределение финансовых ресурсов, предназначенных для поддержки и развития инноваций, приобретает первостепенное значение. При отборе методов финансирования инновационных проектов необходимо учитывать как внешние, так и внутренние факторы. Игнорирование этих факторов может привести к дефициту финансирования и приостановке проектов на ранних стадиях для отдельных компаний, а также к технологической, ресурсной или финансовой зависимости от иностранных инвесторов для государства в целом.

Ключевые слова: финансирование, инновационная деятельность, малый и средний бизнесы, финансы, экономическое развитие.

HE PROBLEMS OF FINANCING INNOVATION ACTIVITIES IN THE RUSSIAN FEDERATION

I.S. Zinovyeva, Doctor of Economic Sciences, Professor
P.S. Terehova, student

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract: Innovation plays a key role in economic growth both at the level of individual enterprises and at the level of the whole country. Therefore, the rational allocation of financial resources intended to support and develop innovations is of paramount importance. When selecting methods of financing innovative projects, it is necessary to take into account both external and internal factors. Ignoring these factors can lead to a shortage of financing and the suspension of projects at early stages for individual companies, as well as to technological, resource or financial dependence on foreign investors for the state as a whole.

Keywords: Financing, innovation, small and medium businesses, finance, economic development.

Финансирование инновационной деятельности – это процесс обеспечения ресурсами (финансовыми, материальными, интеллектуальными) для реализации инновационных проектов и программ, направленный на создание, внедрение и распространение новых или улучшенных продуктов, технологий, процессов и услуг.

Сущность этого финансирования заключается в поддержании всего инновационного цикла: от фундаментальных исследований до коммерциализации результатов. Финансирование может осуществляться из различных источников, включая собственные средства предприятий, государственные субсидии, венчурные инвестиции, банковские кредиты и частные инвестиции.

© Зиновьева И. С., Терехова П. С., 2025

Актуальность изучения проблем финансирования инновационной деятельности обусловлена рядом факторов.

Во-первых, инновации являются ключевым двигателем экономического роста и повышения конкурентоспособности страны. Без достаточного финансирования инновационные проекты не могут быть реализованы в полной мере, что замедляет развитие экономики.

Во-вторых, глобализация и технологический прогресс требуют постоянного обновления продукции и услуг. Компании, которые не инвестируют в инновации, рискуют утратить свои позиции на рынке.

В-третьих, существующие механизмы финансирования инновационной деятельности, такие как государственные гранты и венчурные фонды, часто оказываются недостаточными или неэффективными. Необходимо разрабатывать новые инструменты и подходы для привлечения инвестиций в инновационные проекты.

Изучение проблем финансирования инноваций позволяет выявить узкие места и разработать рекомендации по совершенствованию финансовой системы, что будет способствовать развитию инновационной экономики и повышению уровня жизни населения.

Однако важно отметить, что финансирование инноваций сопряжено с высоким уровнем риска, поскольку результаты инновационной деятельности часто неопределенны. Эффективное финансирование предполагает оценку рисков, диверсификацию инвестиций и создание благоприятной среды для инноваций.

Кроме того, финансирование инновационной деятельности в России сталкивается с рядом вызовов. Общий объем инвестиций в исследования и разработки недостаточен для достижения целей, установленных правительством. Наблюдается дисбаланс в структуре финансирования: преобладают государственные средства, доля частных инвестиций остается низкой.

Государственное финансирование направлено в основном на фундаментальные исследования и поддержку крупных государственных корпораций. Малый и средний инновационный бизнес испытывает трудности с доступом к финансовым ресурсам, особенно на ранних стадиях развития.

Венчурное финансирование развивается медленно, объемы инвестиций невелики по сравнению с развитыми странами. Недостаточно развиты механизмы привлечения иностранных инвестиций в инновационную сферу.

Для стимулирования инновационной деятельности необходимо создать благоприятные условия для частных инвестиций, развивать венчурную индустрию, совершенствовать механизмы государственной поддержки и привлекать иностранные инвестиции.

Рассмотрим основные проблемы финансирования инновационной деятельности в Российской Федерации.

1. Проблема недостаточного объема финансирования на ранних стадиях.

Начало стартапа – период повышенного риска и неопределенности. Часто инновационные идеи остаются нереализованными из-за ограниченного доступа к капиталу. Венчурные фонды и бизнес-ангелы предпочитают инвестировать в проекты с доказанной жизнеспособностью, оставляя ранние стадии с минимальной поддержкой [1].

Дефицит финансирования на ранних стадиях ведет к замедлению развития, утрате конкурентных преимуществ и даже закрытию многообещающих проектов. Молодым предпринимателям приходится полагаться на собственные сбережения или поддержку семьи, что ограничивает масштаб и скорость роста.

Для решения этой проблемы необходимы государственные программы поддержки, гранты и льготное кредитование для стартапов. Создание благоприятной экосистемы, где инвесторы видят потенциал в проектах на ранних стадиях, поможет разблокировать инновационный потенциал и стимулировать экономический рост.

2. Проблема неравномерного распределения финансирования по отраслям и регионам

Исторически сложившаяся концентрация ресурсов в определенных секторах, таких как добыча полезных ископаемых или столичные регионы, приводит к углублению диспропорций.

Это влечет за собой ограниченные возможности для развития инновационных отраслей, социальной сферы и инфраструктуры в менее привилегированных регионах. Недостаток инвестиций в образование, здравоохранение и культуру сдерживает человеческий потенциал и качество жизни.

Решение проблемы требует комплексного подхода, включающего пересмотр бюджетной политики, стимулирование частных инвестиций в приоритетные отрасли и поддержку региональных инициатив. Необходима разработка механизмов, обеспечивающих прозрачное и эффективное распределение ресурсов, а также мониторинг целевого использования средств. Только так можно достичь устойчивого и инклюзивного роста, при котором выгоды от экономического развития будут доступны всем гражданам [2].

3. Сложность доступа к финансированию для малых и средних инновационных предприятий.

Доступ к финансированию – краеугольный камень для развития малых и средних инновационных предприятий (МСП). Однако, эти предприятия часто сталкиваются с существенными трудностями в получении необходимых средств.

Основными причинами сложностей выступают:

– высокий риск: Инновационные проекты, как правило, связаны с высокой степенью неопределенности и риска, что отпугивает консервативных инвесторов;

– недостаток залогового обеспечения: МСП часто не обладают достаточным объемом материальных активов для предоставления в качестве залога;

– информационная асимметрия: Банки и инвесторы могут недостаточно хорошо понимать специфику инновационных проектов и их потенциальную прибыльность.

Недостаток финансирования тормозит инновационное развитие, ограничивает возможности МСП по внедрению новых технологий и выходу на рынок. Это, в свою очередь, негативно сказывается на экономическом росте и конкурентоспособности страны.

Необходимы государственные программы поддержки, такие как гранты, льготные кредиты и гарантийные фонды. Также важны развитие венчурного капитала и создание благоприятной инвестиционной среды.

4. Высокие риски инновационной деятельности и неразвитость механизмов страхования инновационных рисков.

Высокие риски инновационной деятельности и неразвитость механизмов страхования инновационных рисков существенно сдерживают приток инвестиций в эту сферу. Инновации, по определению, связаны с неопределенностью результатов, возможностью технических сбоев и непредсказуемостью рыночной конъюнктуры.

Отсутствие эффективных инструментов страхования этих рисков перекладывает основное бремя ответственности на инвесторов и инноваторов, что увеличивает финансовую нагрузку и снижает привлекательность проектов. Необходимы механизмы, позволяющие частично компенсировать убытки в случае неудачного исхода, стимулируя тем самым более активное внедрение новых технологий и разработок.

Развитие страхования инновационных рисков требует участия государства в создании благоприятной нормативно-правовой базы, стимулировании страховых компаний к разработке специализированных продуктов и поддержке инновационных предприятий, нуждающихся в страховой защите. Это позволит создать более устойчивую и динамичную инновационную экосистему.

Возможными путями решения проблем финансирования инновационной деятельности в Российской Федерации могут стать:

1. Увеличение объемов государственного финансирования инноваций, в том числе за счет перераспределения бюджетных средств.

Это станет ключевым стимулом для развития наукоемких отраслей и повышения конкурентоспособности экономики. Направление дополнительных ресурсов в научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) способствует созданию новых технологий и продуктов, а также модернизации существующей инфраструктуры [3].

Приоритетное финансирование должно быть направлено на поддержку перспективных проектов, обладающих высоким потенциалом коммерциализации и способных внести существенный вклад в решение стратегических задач, стоящих перед государством. Важно также обеспечить прозрачность и эффективность использования бюджетных средств, а также создать благоприятные условия для привлечения частных инвестиций в инновационную сферу.

Государственная поддержка должна включать гранты, льготное кредитование и налоговые стимулы для компаний, занимающихся инновационной деятельностью. Это позволит стимулировать предпринимательскую активность, создавать новые рабочие места и повышать уровень жизни населения.

2. Создание благоприятных условий для привлечения частных инвестиций в инновационную деятельность (налоговые льготы, гарантии, венчурное финансирование).

Для стимулирования инновационной активности необходимо создание благоприятной инвестиционной среды. Ключевым элементом является предоставление налоговых льгот для компаний, осуществляющих научные исследования и разработки, а также для инвесторов, финансирующих инновационные проекты. Это снижает финансовую нагрузку и повышает привлекательность инвестиций.

Важную роль играют государственные гарантии для частных инвесторов, снижающие риски, связанные с вложениями в высокотехнологичные проекты. Развитие венчурного финансирования, в том числе через создание государственных и частных фондов, обеспечивает доступ к капиталу для стартапов и компаний на ранних стадиях развития.

Сочетание этих мер создает синергетический эффект, стимулируя приток частных инвестиций в инновационную сферу и способствуя экономическому росту (рисунок 1).

Рисунок 1 – Источники прямого финансирования инновационных проектов

3. Развитие инфраструктуры поддержки инноваций (технопарки, бизнес-инкубаторы)

В современном мире стимулирование инноваций является ключевым фактором экономического роста и конкурентоспособности. Одним из важнейших инструментов для достижения этой цели служит развитие инфраструктуры поддержки инноваций, включающей технопарки и бизнес-инкубаторы.

Технопарки, как правило, ориентированы на поддержку высокотехнологичных компаний, предоставляя им доступ к специализированному оборудованию, исследовательским центрам и экспертной экспертизе. Бизнес-инкубаторы, в свою очередь,

фокусируются на поддержке стартапов и малых предприятий, предлагая им офисные помещения, консультационные услуги и помощь в привлечении инвестиций [4].

Эффективная инфраструктура поддержки инноваций способствует коммерциализации научных разработок, созданию новых рабочих мест и привлечению инвестиций в инновационные секторы экономики. Развитие этой инфраструктуры требует комплексного подхода, включающего государственную поддержку, сотрудничество с университетами и частным сектором.

4. Совершенствование нормативно-правовой базы в сфере инновационной деятельности.

Совершенствование нормативно-правовой базы в сфере инновационной деятельности – ключевой фактор для стимулирования экономического роста и повышения конкурентоспособности страны. Необходима актуализация существующих законов и подзаконных актов, устранение противоречий и пробелов, препятствующих внедрению инноваций [5].

Важно создать благоприятные условия для венчурного финансирования, включая налоговые льготы и упрощение процедур. Необходимо также обеспечить защиту интеллектуальной собственности и усилить механизмы борьбы с контрафактной продукцией.

Государство должно активно поддерживать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), финансируя перспективные проекты и стимулируя сотрудничество между научными организациями и бизнесом. При этом необходимо учитывать международный опыт и адаптировать лучшие практики к российским условиям. Создание прозрачной и предсказуемой нормативно-правовой базы позволит привлечь инвестиции в инновационные проекты и ускорить процесс внедрения новых технологий в экономику.

Список литературы

1. Бабурина, О. Н. Экономическая безопасность: учебник и практикум для вузов / О. Н. Бабурина. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 393 с. // Образовательная платформа Юрайт. URL: https://urait.ru/bcode/567606 (дата обращения: 13.03.2025).

2. Васильева, Е. В. Экономическая теория: конспект лекций / Е. В. Васильева, Т. В. Макеева. – Москва: Юрайт, 2019. – 190.

3. Днепров, М. Ю. Экономическая теория: учебник для вузов / М. Ю. Днепров, О. В. Михайлюк, В. А. Николаев. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 216 с.// Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/565347 (дата обращения: 13.03.2025).

4. Поликарпова, Т. И. Экономическая теория: учебник и практикум для бакалавриата и специалитета / Т. И. Поликарпова. – 4-е изд., исправленное и дополненное – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 254 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт]. URL: https://urait.ru/bcode/438048 (дата обращения: 13.03.2025).

5. Гловели, Г. Д. Экономическая история: учебник для вузов / Г. Д. Гловели. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 720 с. // Образовательная платформа Юрайт. URL: https://urait.ru/bcode/568816 (дата обращения: 13.03.2025).

6. Open Innovations in Modern Radical Innovation Activity / Shvetsova I.N., Zinovieva I.S., Yashin S.N., Plyusnina O.V., Veselova N.Yu. // В сборнике: Innovative Trends in International Business and Sustainable Management. Singapore. – 2023. – С. 373-383.

References

1. Baburina, O. N. Economic security: textbook and workshop for universities / O. N. Baburina. – Moscow: Yurayt Publishing House, 2025. – 393 p. // Yurayt educational platform [website]. – URL: https://urait.ru/bcode/567606 (date of request: 03/13/2025). – Access mode: for registration. users.

2. Vasilyeva, E. V. Economic theory: lecture notes / E. V. Vasilyeva, T. V. Makeeva. Moscow: Yurait, 2019. 190.

3. Dneprov, M. Y. Economic theory: a textbook for universities / M. Y. Dneprov, O. V. Mikhailyuk, V. A. Nikolaev. – Moscow: Yurayt Publishing House, 2025. – 216 p. // Yurayt educational platform [website]. – URL: https://urait.ru/bcode/565347 (date of request: 03/13/2025). – Access mode: for registration. users.

4. Polikarpova, T. I. Economic theory: textbook and practical course for undergraduate and specialist studies / T. I. Polikarpova. – 4th ed., revised and supplemented - Moscow: Yurayt Publishing House, 2019. – 254 p. // Yurayt educational platform [website]. – URL: https://urait.ru/bcode/438048 (date of request: 03/13/2025). – Access mode: for registration. users.

5. Gloveli, G. D. Economic history: a textbook for universities / G. D. Gloveli. — Moscow: Yurayt Publishing House, 2025. 720 p. // Yurayt educational platform [website]. – URL: https://urait.ru/bcode/568816 (date of request: 03/13/2025). – Access mode: for registration. users.

6. Open innovations in modern radical innovation / Shvetsova I.N., Zinovieva I.S., Yashin S.N., Plyusnina O.V., Veselova N.Yu. // Bulletin: Innovative trends in international business and sustainable management. Singapore. – 2023. – pp. 373-383.

DOI: 10.58168/Forestry2025_241-247
УДК 330.15

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕГИОНОВ НА ОСНОВЕ ДЕКАПЛИНГ-АНАЛИЗА

А.В. Иванова

к.э.н., доцент кафедры «Менеджмента и экономики предпринимательства»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Аннотация.

В настоящем исследовании проведена оценка эколого-экономического развития лесного хозяйства в Российской Федерации на основе декаплинг-анализа. Было проведено ранжирование федеральных округов по уровню эколого-экономического развития лесного хозяйства и сделаны выводы об эффективности эколого-экономической политики регионов в области устойчивого лесоуправления. В работе доказано, что эффект декамплинга в большинстве округов Российской Федерации пока что не достигнут, увеличение объемов экономического потребления лесных ресурсов обусловливает рост негативного давления на лесные экосистемы. Поэтому базовой составляющей устойчивого эколого-экономического развития лесного хозяйства страны, является движение в соответствии с траекторией научно-технологического развития и определения его приоритетов, что приобретает первостепенную значимость, поскольку ресурсы лесного сектора и научно-технического потенциала лесного хозяйства ограничены, а круг разнородных задач в сфере научно-технологического развития, чрезвычайно широк.

Ключевые слова: устойчивое развитие, лесное хозяйство, лесные экосистемы, лесные ресурсы, эффект декамплинга

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF REGIONAL FORESTRY BASED ON DECOUPLING ANALYSIS

A.V. Ivanova
Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department of Management and Economics of Entrepreneurship,

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.

This study assesses the ecological and economic development of forestry in the Russian Federation based on decoupling analysis. The federal districts were ranked by the level of ecological and economic development of forestry and conclusions were made about the effectiveness of the ecological and economic policies of the regions in the field of sustainable forest management. The work proves that the decoupling effect has not yet been achieved in most districts of the Russian Federation, the increase in the volume of economic consumption of forest resources causes an increase in negative pressure on forest ecosystems. Therefore, the basic component of sustainable ecological and economic development of the country's forestry is movement in accordance with the trajectory of scientific and technological development and the determination of its priorities, which

© Иванова А. В., 2025

is of paramount importance, since the resources of the forest sector and the scientific and technical potential of forestry are limited, and the range of heterogeneous tasks in the field of scientific and technological development is extremely wide.

Keywords: sustainable development, forestry, forest ecosystems, forest resources, decoupling effect

Предоставляемые лесами различные экосистемные услуги обеспечивают многочисленные экономические, социальные и экологические выгоды, поэтому современное лесное хозяйство следует рассматривать, с одной стороны, как самостоятельную отрасль материального производства, а с другой - как общественно значимое социальное и экологическое явление. Единство экономических, социальных и экологических аспектов лесного хозяйства имеет принципиальное теоретическое и методологическое значение для понимания сущности и принятия концепции устойчивого социо-эколого-экономического развития лесного хозяйства.

Для оценки устойчивого социо-эколого-экономического развития принято использовать различные инструменты описания и мониторинга о состоянии лесов и лесопользовании. Все большее внимание в рамках исследования проблематики устойчивого эколого-экономического природопользования в процессе потребления природных ресурсов занимает изучение эффекта декаплинга, под которым понимается устранение противоречия между возможностями удовлетворения постоянно возрастающих потребностей современного общества в природных ресурсах и снижения уровня их расходования и оказания негативного воздействия на окружающую среду [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7].

В соответствии с рекомендациями международных организаций для формализованной оценки эффекта декаплинга используется индекс декаплинга, который позволяет за определенный промежуток времени соотнести темпы роста эффективности экономической деятельности хозяйствующей системы и темпы роста негативного воздействия, оказываемого этой деятельностью на окружающую среду за аналогичный период [7]:

$$DI = \frac{T_R}{T_Y} = \frac{(T_{R1} - T_{R0})}{(T_{Y1} - T_{Y0})}$$

где T_R – темп роста экологической нагрузки или выброса загрязнения за определенный период, %; T_Y – темп экономического роста результирующего показателя за аналогичный период, %;

Виды декаплинговых ситуаций и их параметры описаны финским исследователем П. Тапио [2]. Так автор выделяет три вида декамплинговых ситуаций: декамплинг, негативный декамплинг и камплинг. Эффект декамплинга может быть слабым (значение индекса декаплинга находиться в пределах 0,8-0,9) и сильным (значение индекса декаплинга меньше 0,8), при котором темпы экономического роста сопровождаются темпами снижения экологической нагрузки на окружающую среду. Также он указывает на три варианта негативного эффекта декаплинга: экспансивно-отрицательный (значение индекса декаплинга превышает 1,2), который проявляется при превышении темпов роста экологической нагрузки на окружающую среду над темпами экономического роста; сильно отрицательный (значение индекса декаплинга меньше 0) – проявляется при одновременном снижении темпов экономического роста и увеличении темпов роста экологической нагрузки на окружающую среду; слабо отрицательный (значение индекса декаплинга находиться в пределах 1-1,2) - при котором темпы роста экологической нагрузки незначительно превышают темпы экономического роста.

П. Тапио выделяет две ситуации каплинга: экспансивный (значение индекса декаплинга в пределах 0,9-1,1), при котором темпы экономического роста одинаковы с темпами роста экологической нагрузки на окружающую среду; рецессивный (значение индекса декаплинга в пределах 0,9-1,1), при котором наблюдается одинаковое снижении темпов экономического роста и темпов снижения экологической нагрузки на окружающую среду.

В настоящем исследовании оценка эффекта декаплинга в лесном хозяйстве Российской Федерации была проведена исходя из нескольких допущениях.

Во-первых, в качестве показателя, отражающего темпы экономического роста в лесном секторе, принят объем производства промышленного круглого леса, в натуральном выражении (в млн.куб.м), т.к. круглый лес является сырьевой базой для всех производств лесного сектора: лесопильного, деревообрабатывающего, целлюлозно-бумажной промышленности, лесохимические предприятия (рисунок 1).

Стоимостные показатели объемов производства и реализации продукции лесного сектора не использовались, поскольку они в большей степени зависят от колебаний цен на древесину.

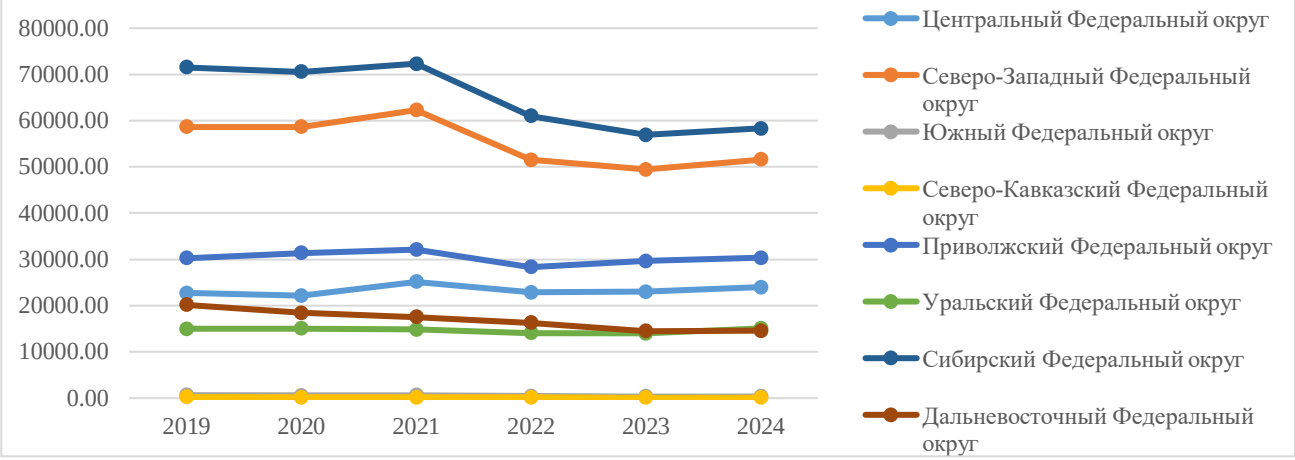


Рисунок 1. Объем производства промышленного круглого леса по федеральным округам Российской Федерации, тыс.куб.м.

Источник: по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС)

В 2024 году в целом по Российской Федерации было заготовлено 194 277,6 тыс. куб.м древесины, лидерами по объему лесозаготовок является Сибирский федеральный округ и Северо-Западный федеральный округ с объемами выпуска продукции в 58 308,3 тыс.куб.м и 51 561,2 тыс.куб.м соответственно, несмотря на то, что наблюдается снижение объема производства промышленного круглого леса в этих округах с 2021 г. Важным для нашего исследования является то, что в целом по стране в 2024 г. наблюдается увеличение объемов лесозаготовки, т.к. именно положительная динамика темпов экономического роста показателей потребления лесных ресурсов является одном из условий в достижении эффекта декамплинга.

Во-вторых, в качестве показателя, отражающего темпы роста негативного воздействия, оказываемого деятельностью производств лесного сектора на окружающую среду, а именно на лесную экосистему, принят объем площади гибели лесных насаждений в результате повреждения дикими животными, болезней леса, воздействия неблагоприятных погодных условий, лесных пожаров и антропогенных факторов, в натуральном выражении (тыс. га) (рисунок 2).

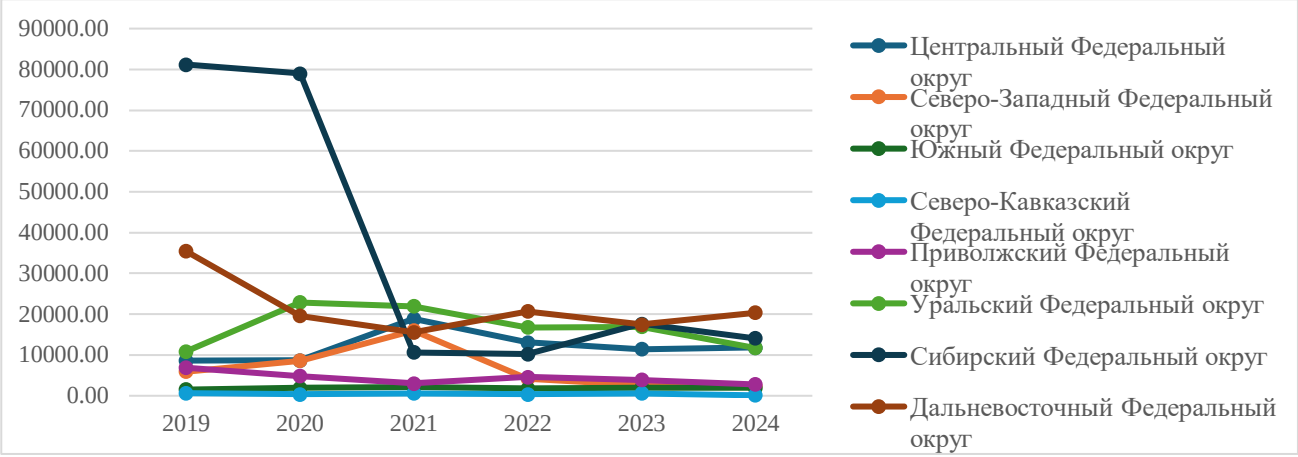


Рисунок 2. Площадь погибших лесных насаждений по федеральным округам Российской Федерации, га

Источник: по данным Формы ведомственной отчетности 10-ОИП «Сведения об очагах вредителей и болезней леса», утвержденной приказом Минприроды России от 18.06.2024 №385 Экологическая нагрузка на лесные экосистемы Российской Федерации не стабильна, за анализируемый период пик гибели лесных насаждений пришелся на 2020 г., сейчас в текущем периоде можно наблюдать снижение гибели лесных насаждений практически по всем федеральным округам.

Очевидно, что зависимость между темпами роста площади погибших лесных насаждений и темпов роста объем производства промышленного круглого леса в целом по Российской Федерации за анализируемый период достаточно сильная, что подтверждается значением коэффициента корреляции по Пирсону равному 0,64, что свидетельствует о статистически значимой связи между показателями.

На графике наглядно видно, что на протяжении практически всего анализируемого периода рост объема экономического потребления лесных ресурсов сопровождается увеличением антропогенной нагрузки на лесные экосистемы (рисунок 3).

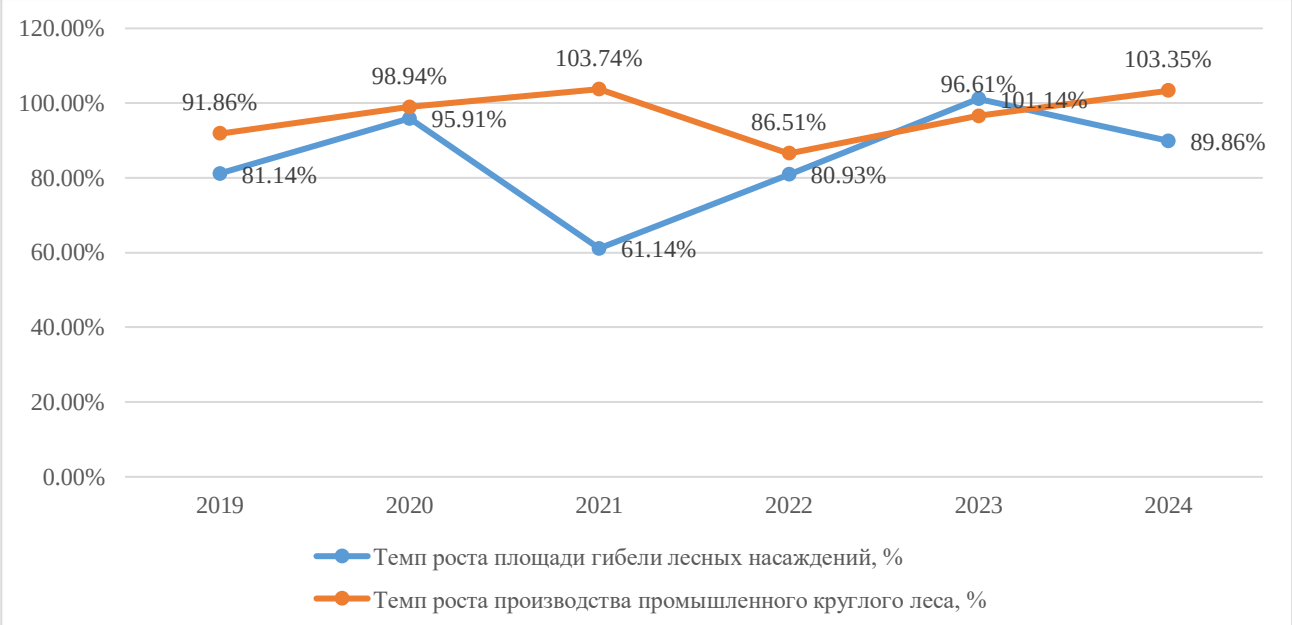


Рисунок 3. Соотношение темпов роста площади погибших лесных насаждений и темпов роста объем производства промышленного круглого леса за период 2020-2024 гг., %

Однако в 2024 г. положительный темп роста производства промышленного круглого леса сопровождается снижением отрицательного воздействия на лесную экосистему, что свидетельствует о проявлении эффекта декамплинга.

Исходя из цели данного исследования, считаем целесообразным обратиться к декамплинг-анализу как инструменту, способному наиболее эффективно отразить связь экономического роста и экологической нагрузки на лесные экосистемы страны и тем самым обозначить перспективы устойчивого развития лесного хозяйства в Российской Федерации.

Визуализация эколого-экономического развития лесного хозяйства федеральных округов на основе полученных расчетов индекса декаплинга и экологической нагрузки лесного комплекса, отражающей уровень гибели лесных насаждений, а также позиций объектов исследования на протяжении 2020-2024 гг. отражена на рисунке 4.

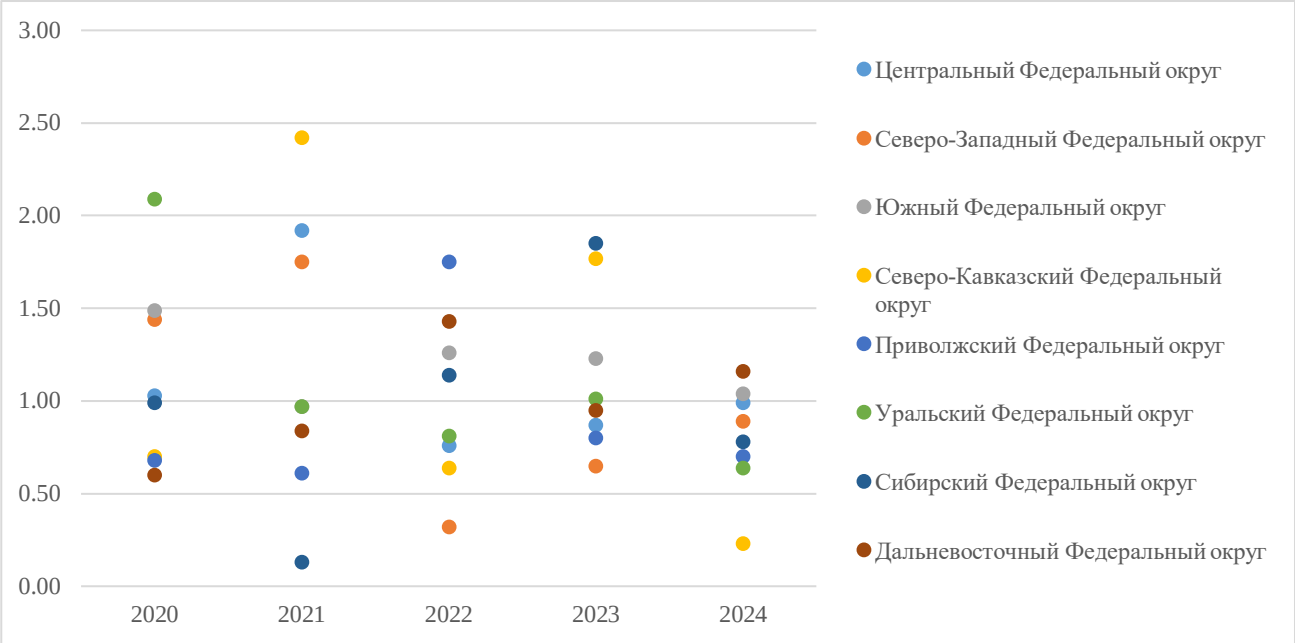


Рисунок 4. Результаты оценки эффекта декамплинга по федеральным округам в лесном хозяйстве Российской Федерации

Источник: собственная композиция авторов

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы, что наиболее положительные результаты в Российской Федерации за 2020-2024 гг. по рассогласованию темпов роста негативного давления на лесные экосистемы, выраженного в площади погибших лесных насаждений и темпов роста экономического потребления лесных ресурсов достигнуты в Северо-Западном федеральном округе. Округ, который является одним из лидеров по объемам лесозаготовок в Российской Федерации в 2022-2023 гг. смог достичь сильный эффект декамплинга ($DR \leq 0,8$), однако в 2024 г. наблюдался рост объемов лесозаготовок в округе с одновременным ростом антропогенного давления на окружающую среду с одинаковым темпом.

Кроме того, Приволжский Федеральный округ в период 2023-2024 г. так же смог стабилизироваться в отношении рассогласования темпов роста объем производства промышленного круглого леса и темпов роста гибели лесных насаждений. В целом за 2024 год Уральский федеральный округ и Сибирский Федеральный округ достигли эффекта сильного декамплинга, при росте объемов заготовки круглого леса в округах удалось сократить объемы негативной нагрузки на лесные экосистемы, несмотря на то, что ранее в этих округах наблюдался отрицательный, а местами и экспансивно-отрицательный негативный декамплинг.

Ярко выраженные негативные ситуации (кривая, отражающая изменение экологической нагрузки на лесные экосистемы выше, чем кривая, отражающая изменение экономического роста) наблюдаются в Дальневосточном и Южном федеральных округа, где был достигнут отрицательный негативный декамплинг (1 < DR < 1,2).

В центральном федеральном округе до 2021 г. включительно темпы негативного влияния на лесные экосистемы превышали темпы экономического потребления лесных ресурсов, эффект декамплинга был отрицательным, начиная с 2022 г. эффект декамплинга присутствует, но слабый (0,8 < DR < 0,9) – темпы роста объем производства промышленного круглого леса незначительно превышают темпы роста площади погибших лесных насаждений, в 2024 г. объем производства промышленного круглого леса и антропогенное давление на лесные экосистемы округа увеличиваются с одинаковым темпом (0,9 < DR < 1,1).

Исследования показывают, что не смотря на положительные сдвиги во многих регионах в отношении снижения гибели лесных насаждений говорить о наличии эффекта декаплинга в лесном хозяйстве страны преждевременно, что подтверждается положительной корреляционной связью между показателями экономического роста и экологической нагрузки на лесные экосистемы. В целом эффект декаплинга в лесном хозяйстве в 2020-2024 гг. отсутствовал.

Пока что увеличение объемов экономического потребления лесных ресурсов неизбежно приводит к росту негативного воздействия на лесные экосистемы.

Переход лесного хозяйства страны к новой модели использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, обеспечивающей опережающий рост лесного сектора экономики, социальную и экологическую безопасность страны, безусловное выполнение международных обязательств России в части лесов, является императивом для сохранения устойчивых темпов экономического роста лесного комплекса в среднесрочной и долгосрочной перспективах.

Поэтому базовой составляющей устойчивого эколого-экономического развития лесного хозяйства страны, является движение в соответствии с траекторией научно-технологического развития и определения его приоритетов, что приобретает первостепенную значимость, поскольку ресурсы лесного сектора и научно-технического потенциала лесного хозяйства ограничены, а круг разнородных задач в сфере научно-технологического развития, чрезвычайно широк. Признание объективной неопределенности в процессах развития новых технологий, техники и особенно биологических процессов приводит к необходимости пересмотра всех прежних направлений технико-технологического развития лесного хозяйства.

Список литературы

1. Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Hennicke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A., Sewerin, S. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. — Nairobi: UNEP. 2011; 15. URL: http://hdl.handle.net/10019.1/14631
2. Haapanen L., Tapio P. Economic growth as phenomenon, institution and ideology: a qualitative content analysis of the 21st century growth critique. Journal of Cleaner Production. 2016; 112(4); 3492-3503. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.024
3. Яшалова Н.Н. Анализ проявления эффекта декаплинга в эколого-экономической деятельности региона. Региональная экономика: теория и практика. 2014; 39(366); 54-61. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22137505
4. Бобылев С. Н. Экономика устойчивого развития: учебник. — Москва: КНОРУС. 2021; 672. URL: https://eipc.center/wp-content/themes/fgau/publics/boblev_2021.pdf
5. Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. Transport Policy. 2005; 12(2); 137-151. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.001

6. Zhou, Y., Hu, D., Wang, T., Tian, H., & Gan, L. (). Decoupling effect and spatial-temporal characteristics of carbon emissions from construction industry in China. Journal of Cleaner Production. 2023; 419; 138243. DOI: https://doi.org/10.1186/s13717-023-00435-y

7. Аникина И.Д., Аникин АА. Оценка эффекта декаплинга на примере регионов ЮФО. Региональная экономика. Юг России. 2019; 7; 4; 138-147. DOI: https://doi.org/10.15688/re.volsu.2019.4.13.

8. Иванова А.В. Тренды организации инновационной инфраструктуры как фактор устойчивого развития лесного комплекса. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2024; 12; 1(64); 7-18. DOI: https://doi.org/10.34220/2308-8877-2024-12-1-7-18.

References

1. Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E.U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., Krausmann, F., Eisenmenger, N., Giljum, S., Hennicke, P., Romero Lankao, P., Siriban Manalang, A., Sewerin, S. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. — Nairobi: UNEP. 2011; 15. Available at: http://hdl.handle.net/10019.1/14631

2. Haapanen L., Tapio P. Economic growth as phenomenon, institution and ideology: a qualitative content analysis of the 21st century growth critique. Journal of Cleaner Production. 2016; 112(4); 3492-3503. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.024

3. Yashalova N.N. Analiz proyavleniya effekta dekaplinga v ekologo-ekonomicheskoy deyatel'nosti regiona [Analysis of the manifestation of the decoupling effect in the ecological and economic activity of the region]. Regional'naja jekonomika: teorija i praktika = Regional Economy: Theory and Practice. 2014; 39(366); 54-61. (In Russ.). Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22137505

4. Bobylev S.N. Jekonomika ustojchivogo razvitija [Economics of Sustainable Development]: учебник. — Moskva: KNORUS = Moscow: KNORUS. 2021; 672. (In Russ.). Available at: https://eipc.center/wp-content/themes/fgau/publics/boblev_2021.pdf

5. Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. Transport Policy. 2005; 12(2); 137-151. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.001

6. Zhou, Y., Hu, D., Wang, T., Tian, H., & Gan, L. (). Decoupling effect and spatial-temporal characteristics of carbon emissions from construction industry in China. Journal of Cleaner Production. 2023; 419; 138243. DOI: https://doi.org/10.1186/s13717-023-00435-y

7. Anikina I.D., Anikin A.A. Ocenka jeffekta dekaplinga na primere regionov JuFO [Assessment of the Decoupling Effect Based on the Regions of the Southern Federal District]. Regional'naja jekonomika. Jug Rossii=Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii [Regional Economy. South of Russia]. 2019; 7; 4; 138-147 (in Russian). DOI: https://doi.org/10.15688/re.volsu.2019.4.13

8. Ivanova A.V. Trends in organizing innovative infrastructure as a factor in sustainable development of the forestry complex [Trends in the organization of innovative infrastructure as a factor in the sustainable development of the forest complex]. Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika=Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice]. 2024; 1 (64);7-18 (in Russian). DOI: https://doi.org/10.34220/2308-8877- 2024-12-1-7-18.

DOI: 10.58168/Forestry2025_248-254
УДК 630 3

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ НА ПРИМЕРЕ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОЛИГОНА АО БАБАЕВСКИЙ ЛЕСПРОМХОЗ

Д.М. Корякина[1], Ф.Н. Дружинин[2]

[1]к.с.-х. н., доцент кафедры лесного хозяйства
[2]д-р с.-х. н., доцент, заведующий кафедрой лесного хозяйства
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», г. Вологда, Россия

Аннотация. В статье выполнен комплексный анализ производственных затрат и доходности производства от хозяйственной деятельности на учебно-производственном полигоне АО «Бабаевский леспромхоз». Результаты показывают высокую долю амортизации в структуре затрат и выявляют ключевые факторы, влияющие на себестоимость различных видов хозяйствования. Общая доходность производства подтверждена расчётом рентабельности, что свидетельствует об экономической эффективности интенсивной модели использования лесных ресурсов при условии дальнейшей оптимизации затрат, прежде всего, на содержание основных фондов.

Ключевые слова: хозяйственная деятельность, интенсивное использование лесов, многооперационная техника, сплошные рубки, рубки обновления, рубки переформирования, лесовосстановление, себестоимость, рентабельность.

ANALYSIS AND ESTIMATION OF PRODUCTION COSTS ON THE EXAMPLE OF A TRAINING AND PRODUCTION POLYGON JSC BABAEVSKY LESPROMKHOZ

D.M. Koryakina[1], F.N. Druzhinin[2]
[1]PhD in Agriculture, Associate Professor at the Department of Forestry
[2]Dr. of Agriculture, Associate Professor, Head of the Department of Forestry
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin», Vologda, Russia

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of production costs and profitability from economic activities at the training and production site of JSC Babaevsky Lespromkhoz. The results show a high share of depreciation in the cost structure and identify key factors affecting the cost of various types of farming. The overall profitability of production is confirmed by the calculation of profitability, which indicates the economic efficiency of an intensive model of using forest resources, provided that costs are further optimized, primarily for the maintenance of fixed assets.

Keywords: economic activity, clear-cutting, renewal cutting, reforestation, intensive use of forests, reforestation, cost, profitability, and multi-operation equipment.

Важной задачей лесохозяйственной и лесопромышленной деятельности является рациональное использование спелых и перестойных насаждений наряду с вовлечением в промышленную эксплуатацию насаждений мягколиственных пород и низких классов бонитета. Большое значение в этом отношении заключается в увеличении доли выборочных

© Корякина Д. М., Дружинин Ф. Н., 2025

форм рубок. Для достижения этой цели необходимо более широко внедрять в практику технологии лесосечных работ, обеспечивающей сокращение затрат на заготовку древесины при сохранении лесной среды.

В рамках исследования решалась основная задача – анализ и оценка затрат и доходов от заготовки древесины и выполнения комплекса лесохозяйственных мероприятий. При этом важно своевременно анализировать технологические процессы, вносить предложения, на основе которых необходимо стремиться к повышению эффективности и качества воспроизводства и использования лесов [1, 7].

Объектом исследования являлся учебно-производственный полигон (УПП) на базе АО «Бабаевский леспромхоз. Основной его целью создания является внедрение в производство интенсивной модели использования лесов, включающей комплекс мер по внедрению при освоении лесов выборочных форм рубок, выполнению комплекса мер по содействию естественному лесовозобновлению, многоцелевому воспроизводству лесов на основе инновационных подходов к хозяйственной деятельности [8].

Наиболее представленной лесообразующей породой на этом объекте, является ель (*Picea abies*). На ее долю приходится более 32% покрытой лесом площади из них высокобонитетных насаждений – 18%. Ель произрастает почти по всех почвах, встречающихся на землях лесного фонда. На свежих суглинках, наиболее плодородных почвах, она (ель) образует насаждения II-IV классов бонитета.

На песчаных сухих и свежих, а также на торфяных болотных почвах верхового типа ель уступает место сосне, которая менее требовательна к почвенным условиям. Местами сосна произрастает и на более богатых супесчаных и легкосуглинистых почвах, образуя здесь древостои I-II классов бонитета. Однако такие сосняки занимают незначительные территории и приурочены к берегам рек, холмам и другим повышениям. Средняя продуктивность сосновых лесов невысокая и на долю низкобонитетных приходится около 18% всей площади.

Мягколиственные леса занимают около 44% от лесопокрытой площади. Представлены они, в основном, березняками, удельный вес которых составляет около 37%. Это объясняется, прежде всего, хорошей способностью березы возобновляться семенами и вегетативно.

Осиновые формации по площади и запасу древесины занимают четвертое место. Они возникли после сведения ельников в результате их вырубки и пожаров. Осина, в сравнении с березой, более требовательна к экологическим и почвенно-гидрологическим условиям, хотя и произрастает на всех почвенных разностях, за исключением болотных и песчаных почв. Большая часть осинников более 4% от всей площади полигона относятся к спелым насаждениям. На долю других лесообразующих пород (ольха серая и черная, ива козья и пятитычинковая) приходится менее 1% от покрытой лесом площади [6].

Преобладающие характеристики УПП:

- тип почв – среднеподзолистый, супесчаный, подстилаемый суглинками;
- главные лесообразующие породы – ель и сосна;
- средний класс бонитета насаждений – II;
- преобладающий тип условий местопроизрастания – черничный.

Рассматриваемая территория находится на расстоянии 15 км от главной производственной базы предприятия. Перечень объектов, отведенных под заготовку спелой и перестойной древесины, рубки ухода за лесом, а также запланированное дорожное строительство проектировалось с учетом сезонности проведения работ (таблица 1). Общая площадь под сплошные рубки составила 43,0 га, а обновления и другие мероприятия – 33,7 га.

Таблица 1 – Перечень лесных участков, включенных в годовой план хозяйственной деятельности предприятия

№ п.п.	Проектируемые мероприятия	Ед. изм.	Объем
1	Сплошные рубки	га	40,4
2	Уход за лесом (прочистки)	га	19,1
3	Рубка переформирования	га	7,0

4	Рубка обновления	га	33,7
5	Строительство объекта лесной инфраструктуры	км	2,9
6	Подготовка почвы под создание лесных культур	га	8,9
7	Посадка лесных культур	га	8,9

Расчет затрат по всем видам работ выполнен по данным бухгалтерского отчета предприятия. Дорожным строительством на предприятии занимаются подрядные организации по фиксированным расценкам по каждому виду работ.

Затраты на подготовку объекта лесной инфраструктуры приведены в таблице 2. При строительстве зимней лесовозной дороги применялись экскаваторы Komatsu, John Deere 240. Бригада вальщиков (4 человека) выполняли работы по доочистке придорожной полосы. На подготовку зимней лесовозной дороги протяженностью 2,1 км затрачено 263 м.ч. с общей суммой затрат 186200 руб или 93100 руб./км.

Таблица 2 – Затраты на строительство объекта лесной инфраструктуры

Технологические операции	Объем	Ед. изм.	Техника, оборудование	Затраты всего, руб.
Расчистка дороги и площадки для разворота	2,1	км	погрузчик John Deere WL	21000
Прикатывание снежного покрытия	3,0		Экскаватор Komatsu, Экскаватор John Deere 240	132000
Полив водой из канав	1,7			
Строительство разворотного кольца	0,12			
Посыпание дороги опилками	1,2			
Строительство дороги и разворотного кольца, с укладкой поперечного настила	0,3			
Расчистка придорожной полосы	2,0	га	бригада вальщиков (4 человек) с бензопилами Shtill 180	33200
Итого				186200

Необходимо отметить, что на этом участке лесной инфраструктуры ранее был выполнен ряд работ: разрубка дорожной полосы шириной 15 м, подготовка земляного полотна шириной 6,5 м. Поэтому подготовка дороги в качестве зимника заключалась лишь в уплотнении снежного покрытия и обустройства мест для разворота сортиментовоза.

Затраты на производство заготовки древесины отражены по каждой машине, задействованной на участке (таблица 3). Себестоимость рассчитана для 1 м^3 древесины.

Сплошная рубка по заготовке спелой и перестойной древесины проведена на общей площади 40,4 га. При производстве лесосечных работ заготовлено – 5 386,5 м^3. ликвидной древесины. Затраты составили 2413731 руб.

Себестоимость заготовки древесины сплошными рубками составила 448,1 руб за м^3. При работе на объектах сплошных рубок техника выработала наибольшее количество мото-часов, но затраты оказались меньше. Это связано с тем, что:

- данный вид рубок является наиболее частым в практике машинистов-операторов, следовательно, наработанный опыт позволял им выполнять работу более оперативно;
- форвардер на этом участке был относительно новый, следовательно, каких-либо технических проблем и неисправностей по нему не возникало;
- у харвестера на тот момент закончился срок амортизации, следовательно, за тот месяц счислений не проводилось, что так же положительно сказалось на себестоимости [3-5].

При производстве специализированных рубок ухода (обновлении и переформированиях) общей площадью 40,7 га заготовлено 1663,8 м^3 ликвидной древесины. В среднем с 1 га вырублено 40 м^3. Общая сумма затрат при выполнении уходов составила 1103785 руб или 663 руб/м^3.

Согласно отчетной отраслевой бухгалтерской документации наибольший показатель себестоимости заготовленной древесины получился у (726,6 руб за м^3) при выполнении рубок обновления. Это обусловлено двумя причинами:

- машинисты-операторы харвестера впервые выполняли работы по этим видам рубок, а потому рабочий процесс занимал несколько больше времени;

- в процессе работ случилась поломка форвардера, которая привела к дорогостоящему ремонту, что повлияло на затраты при их производстве. Следует отметить, что большая часть заготовленной древесины – дорогостоящий хвойный пиловочник.

Таблица 3 – Затраты на производство работ по заготовке древесины

Объект	Объем, га	Объём заготовки, м^3	Техника	Себестоимость работ								
				амортизация, руб	мт.ч	топливо		смазочные материалы, руб.	запчасти, руб.	з/п, руб.	всего, руб.	м^3, руб
						л.	руб.					
СР	40,4	5386,5	Х	327507	355	5850	245700	31884	288134	355417	1248643	448,1
			Ф	395460	342	5392	226464	14958	199110	329094	1165088	
ОБН	33,7	1203,0	Х	188228	128	2229	93606	10908	46917	73142	412802	726,6
			Ф	164095	158	2867	120420	4101	104901	67849	461368	
ПРФ	7,0	460,8	Х	36763	25	435	18283	2130	17972	28016	103164	498,3
			Ф	34273	33	599	25151	857	40187	25989	126451	
Итого		7050,3		1146326	1041	17372	729624	64838	697221	879507	3517516	498,9

Общая сумма затрат на заготовку древесины составила – 3517515 руб. Наибольшую долю в структуре затрат на проведении работ по заготовке древесины составляет амортизация лесозаготовительной техники иностранного производства – 33%. А другие статьи затрат находятся в диапазоне от 20 до 24%. Общий объем заготовленной древесины составил – 7050,3 м^3. Средняя цена продажи 1 м^3 по предприятию составляет – 4700 руб. Общий доход от реализации древесины – 33136410 руб.

В соответствии с планом по лесовосстановлению выполнен комплекс работ на общей площади 8,9 га (таблица 4). На работу экскаватора было затрачено 70 мот. - час. (подготовка почвы под посадку лесных культур и устройство минерализованной полосы). Все остальные работы выполнялись вручную. При посадке лесных культур было задействовано 12 человек. Общая сумма затрат на данный объект составила – 506 561 руб.

Таблица 4 – Затраты на воспроизводство лесов

Технологические операции	Объем работ	Ед.	Техника, оборудование, рабочая сила	Затраты		
				мот. час	чел. час	всего, руб.
Подготовка почвы под посадку лесных культур	8,9	га	Экскаватор John Deere 240	66	-	92809
Устройство минерализованных полос	0,4	км		4	-	5308
Посадка лесных культур	9,9	га	12 человек	-	256	22344
Посадочный материал ели обыкновенной (ЗКС, ОКС)	9,9	га		-	-	386100
Итого						506561

Рубки ухода проведены на двух участках с различными таксационными показателями (таблица 5). На первом участке средний диаметр нежелательной древесной растительности (осина, береза) составлял 1,5-2 см, а высота ствола – до 2,5 м. Работы выполнялась бригадой вальщиков (7 человек) с применением бензопил. Интенсивность изреживания составила 10 м^3 /га. На другом участке средний диаметр нежелательной растительности составлял 6 см, а высота – 7,0 м. Работы производились экскаватором с навесным оборудованием (мульчером). В общей сложности было затрачено 12 мот. - час. Объем вырубленной неликвидной древесины при проведении ухода составил 23 м^3.

Таблица 5 – Затраты на производство рубок ухода в молодняках

Вид ухода	Технологические операции	Объем, га	Техника, оборудование, рабочая сила	Затраты всего, руб.
Прочистки	вырубка нежелательной древесной и кустарниковой растительности вручную	9,7	бригада вальщиков (7 человек) с бензопилами Shtill 18	101850
	вырубка нежелательной древесной и кустарниковой растительности путём механизированным способом	9,4	экскаватор с навесным оборудованием - мульчером	25067
Итого				126917

Оплата за выполнение данного вида работ для бригады вальщиков исчислялась по объему срубленной древесины. Себестоимость работ составила 101850 руб. В свою очередь затраты при механизированных работах связаны с количеством отработанного времени и составили 25067 руб. Общая сумма затрат на неликвидные рубки ухода – 126917 руб.

В соответствии с планом проведения работ на учебно-производственном полигоне выполнены работы по использованию, воспроизводству, охране и защите лесов. По их окончанию проведена оценка затраченных трудовых и финансовых ресурсов (таблица 6). Кроме этого выполнен расчет суммарных затрат и полученной прибыли по результатам лесохозяйственной и хозяйственной деятельности.

Таблица 6 – Рентабельность производства работ на учебно- производственном полигоне, тыс. руб.

Дорожное строительство	Рубки ухода	Лесовосстановление	Заготовка древесины	Сумма затрат	Доход	Прибыль с учетом налога
186,2	126,9	506,6	3517,5	4337,2	33136,4	23039,4

Наибольшая доля производственных затрат (81%) пришлась на проведение сплошных и выборочных форм рубок с целью заготовки древесины. Затраты на лесовосстановление – 12%, а по всем остальным видам деятельности – 7% (дорожное строительство, рубки ухода).

В общей структуре затрат по работам, проведенным на учебно-производственном полигоне, нами выделены как прямые затраты, так и накладные расходы, связанные непосредственно с основным видом деятельности. Основным экономическим показателем эффективности хозяйственной деятельности предприятия является рентабельность. По результатам выполненных расчетов и анализа бухгалтерских данных можно заключить, что выполнение работ на учебно-производственном полигоне – определенно рентабельно. Это позволяет сделать вывод, что применение многооперационной агрегатной техники экономически эффективно, но требует нахождения путей оптимизации по сокращению расходов, в первую очередь, на содержание основных фондов.

Заготовка древесины является наиболее затратной статьей, но в то же самое время доход от реализации продукции является основой, приносящей прибыль. При видении интенсивной модели использования лесов и лесовосстановления необходимо выполнять мероприятия, которые позволят в последующем добиться повышения производительности лесов и рентабельности всех видов работ на протяжении всего цикла их выращивания и формирования.

Список литературы

1. Гиляровская, Л. Т. Экономический анализ / Л. Т. Гиляровская. – М. : Юнити-Дана, 2004. – 615 с.

2. Дербин В.М., Дербин М.В. Сортиментная заготовка древесины при выборочных рубках /В.М. Дербин, М.В. Дербин //Лесной журнал. – 2016. – №5. – С.123-131

3. Дружинин Н.А. и др. Руководство по сортиментной заготовке древесины / Н.А. Дружинин, П.Н. Дружинин, Ф.Н. Дружинин, В.С. Дубовский, Е.С. Трунов, Н.В. Шапаренко. – Вологда: Севлеспроект, 2005. – 40 с.

4. Застенский Л.С. и др. Машины и механизмы лесного хозяйства и их эксплуатация /Л.С. Застенский, Н.Н. Неволин. – Вологда, 2000. – 395 с.

5. Матвейко А.П., Федоренчик А.С. Технология и машины лесосечных работ: учебник для ВУЗов /А.П. Матвейко, А.С. Федоренчик. – Мн.: Технопринт, 2002. – 480 с.

6. Приказ Департамента лесного комплекса Вологодской области от 26.10.2018 года № 1608 «Об утверждении лесохозяйственного регламента Бабаевского лесничества Вологодской области». – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3501201810290002/ (дата обращения 15.07.2025).

7. Савицкая, Г. В. Экономический анализ / Г. В. Савицкая. – М. : Новое знание, 2005. – 651 с.

8. Учебно-производственный полигон по интенсификации использования и воспроизводства лесов /Ф.Н. Дружинин, В.В. Смирнов, Д.М. Корякина, С.В. Цыпилев //Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XVII Международной научно-технической конференции, Вологда, 03 декабря 2019 года // Ответственный редактор Ю.М. Авдеев. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2019. – С. 34-37. – EDN IIVWLZ.

References

1. Gilyarovskaya, L. T. Economic Analysis / L. T. Gilyarovskaya. – M. : Unity-Dana, 2004. – 615 p.

2. Derbin V.M., Derbin M.V. Sortiment harvesting of wood in selective logging /V.M. Derbin, M.V. Derbin //Lesnoy Zhurnal. – 2016. – No. 5. – Pp.123-131

3. Druzhinin N.A. et al. Guide to Timber Sorting / N.A. Druzhinin, P.N. Druzhinin, F.N. Druzhinin, V.S. Dubovskiy, E.S. Trunov, N.V. Shaparenko. – Vologda: Sevlesproekt, 2005. – 40 p.

4. Zastensky L.S. et al. Machines and mechanisms of forestry and their operation / L.S. Zastensky, N.N. Nevolin. – Vologda, 2000. – 395 p.

5. Matveyko A.P., Fedorenchik A.S. Technology and machines of logging operations: textbook for universities / A.P. Matveyko, A.S. Fedorenchik. – Mn.: Tekhnoprint, 2002. – 480 p.

6. Order No. 1608 of the Department of Forestry of the Vologda Region dated 26 October 2018 "On Approval of the Forestry Regulations for the Babaevsky Forestry District of the Vologda Region". – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3501201810290002/ (accessed on 15.07.2025).

7. Savitskaya, G. V. Economic Analysis / G. V. Savitskaya. – Moscow: Novoye Znaniye, 2005. – 651 p.

8. Training and Production Site for the Intensification of Forest Use and Reproduction / F.N. Druzhinin, V.V. Smirnov, D.M. Koryakina, and S.V. Tsypilev // Actual Problems of the Forest Complex Development: Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference, Vologda, December 3, 2019 // Edited by Yu.M. Avdeev. – Vologda: Vologda State University, 2019. – Pp. 34-37. – EDN IIVWLZ.

DOI: 10.58168/Forestry2025_255-261
УДК 332.1

ПРИНЦИПЫ УЧЁТА РИСКОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЛЕСОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

Д.К. Кузнецов

к.э.н., младший научный сотрудник НИИ ИТЛК,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Настоящая статья посвящена вопросам рисковых событий в рамках подготовки и реализации лесоклиматических проектов. В ходе исследования на основе проведенного анализа проектной документации реализуемых лесоклиматических проектов проведены обобщения потенциальных рисковых ситуаций при реализации таких проектов. По результатам указанного анализа установлено, что на практике исполнители климатических проектов учитывают не все возможные риски, связанные с возможной утратой результатов проектной деятельности.

Ключевые слова: лесоклиматические проекты, лесное хозяйство, экономика лесного хозяйства, проектные риски, риски лесоклиматических проектов

PRINCIPLES OF RISK ACCOUNTING IN IMPLEMENTATION FOREST CLIMATE PROJECTS

D.K. Kuznetsov

Candidate of Economic Sciences,
Junior Researcher at the ITFS Research Institute,

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.
This article is devoted to the issues of risk events in the preparation and implementation of forest climate projects. In the course of the study, based on the analysis of the project documentation of the implemented forest climate projects, generalizations of potential risk situations during the implementation of such projects were carried out. Based on the results of this analysis, it was found that in practice, climate project executors do not take into account all possible risks associated with the possible loss of project results.

Keywords: forest climate projects, forestry, forestry economics, project risks, risks of forest climate projects

Актуальность настоящей работы обусловлена развитием рынка реализации в Российской Федерации лесоклиматических проектов. В настоящее время в реестре углеродных единиц зарегистрировано как минимум три проекта, которые могут быть отнесены в рамках российского регулирования в качестве лесоклиматических [1]. Более того,

© Кузнецов Д. К., 2025

реестр содержит ещё несколько проектов, которые формально определены в качестве климатических, но по существу предполагают реализацию дополнительных мероприятий по сохранению лесов, предусмотренных Лесным кодексом Российской Федерации [2].

Лесоклиматические проекты оказывают серьезное влияние на низкоуглеродное развитие экономики страны [3]. Они определены в качестве одной из приоритетных мер по сокращению выбросов и увеличению поглощения парниковых газов в рамках Стратегии низкоуглеродного развития России до 2050 года [4]. Специалисты в рамках области исследования используют различные подходы для оценки итогового эффекта от реализации лесоклиматических проектов на общий углеродный баланс [5,6]. Вместе с тем, проводится не только оценка, связанная с природным поглощением углерода лесами, но и экономическая оценка проектной деятельности [7]. В настоящее время ключевыми остаются вопросы стандартизации лесоклиматических проектов, при решении которых одним из важнейших аспектов станет оценка рисков. Анализ рисковых ситуаций характерен для всех типов инвестиционных проектов, что позволяет внедрять его с учётом каждой новой категории проектной деятельности. В связи с этим, целесообразно сформировать условия для применения риск-ориентированного подхода к реализации лесоклиматических проектов в Российской Федерации на основе существующего регулирования и зарубежного опыта. Основу материалов настоящей работы составили публикации отечественных и зарубежных специалистов в области реализации лесоклиматических проектов, проектной деятельности в целом, инвестиций и анализа рисков, а также открытые данные реестра углеродных единиц, содержащие информацию об анализе рисков реализуемых в Российской Федерации лесоклиматических проектов. Методическую основу исследования составили как общенаучные, так и специализированные методы исследования, в том числе библиографический анализ и компаративный анализ.

Реализуемые лесоклиматические проекты состоят в следующем:

1. Проект акционерного общества «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод» (АО «РУСАЛ Красноярск») «Авиационная охрана от пожаров лесного участка на территории Нижне-Енисейского лесничества, Сымского участкового лесничества, поселок Ярцево, Красноярский край, Россия» № 04-2023-00000012. Проект РУСАЛа по охране лесов от пожаров в Красноярском крае реализуется на территории Нижне-Енисейского лесничества, Сымского участкового лесничества, которое относится к Западно-Сибирскому среднетаежному равнинному району таежной зоны.

Территория проекта (общая площадь – 504 986 га) относится к категории резервных лесов, к зоне лесоавиационных работ, где проводится регистрация пожаров при помощи космических средств, но мероприятия по тушению пожаров не проводятся, если пожары не угрожают объектам инфраструктуры и населенным пунктам. До 2019 г. поглощение и выбросы парниковых газов на этой территории не учитывались в связи с тем, что эта территория относилась к категории резервных лесов.

В 2019 г. Объединенная компания «РУСАЛ» выделила финансирование на закупку необходимых материалов и средств для пожаротушения, законтрактованы воздушные суда (самолет и вертолет), набран и обучен персонал, проведено авиационное патрулирование [8]. Согласно данным реестра углеродных единиц за период с 2019 по 2033 гг. предполагается выпустить 5152843 углеродных единиц (5,15 Мт CO2-экв.).

К настоящему времени выпущено 1351054 углеродных единиц (1,35 Мт CO2-экв.), из них 66362 (66 тыс. тонн CO2-экв.) зачтено.

2. Проект ООО «Ванинский центр лесоводства» «Увеличение поглощения парниковых газов за счет реализации климатического проекта на территории Поронайского лесничества Сахалинской области» № 64-2023-00000006. С 2038 по 2102 гг. предполагается выпустить 1515282 углеродных единиц (1,5 Мт CO2-экв.).

3. Проект ПАО «СИБУР Холдинг» «Создание углерододепонирующих насаждений в рамках программы «Зеленая формула» в Республике Татарстан, Нижегородской области, Тюменской области» № 22-2024-00000032. Проектом предусмотрено создание лесных

насаждений на площади 200 га в соответствующих регионах. Планируемый к выпуску объем углеродных единиц составляет 49 394 ед. (49 тыс. тонн CO2-экв.).

Проектная документация по реализации лесоклиматических проектов опубликована не в полном объеме и не для всех проектов. Так, проектная документация по проекту АО «РУСАЛ Красноярск» не содержит информации об анализе рисков проектной деятельностию. По проекту ООО «Ванинский центр лесоводства» документация не опубликована. Единственный проект, включающий информацию о проектных рисках – проект ПАО «СИБУР Холдинг». Рассмотрим опубликованные документы на предмет анализа рисков осуществления проектной деятельности.

Основу указанного проекта составляет нерегулируемая действующим законодательством добровольная методология реализации климатических проектов № 0010 «Лесовосстановление» [9]. Соответствующая методология позволяет оценивать так называемые утечки – утраты результатов реализации лесоклиматических проектов в виде дополнительного поглощения или сокращения выбросов парниковых газов. Методология выделяет три типа утечек: утечка вследствие влияния на рынок (перенос производства из границ проекта в другое место ввиду рыночной конъюнктуры), утечка вследствие смены видов деятельности (перемещение видов деятельности за границы проекта в другое место ввиду особенностей проектной деятельности), экологическая утечка (воздействие проектной деятельности на потоки парниковых газов за границами проекта).

Кроме того, методология предполагает оценку риска непостоянства, выражающаяся в соблюдении принципов национальной системы стандартизации в области управления рисками. Риском непостоянства для проектов по лесовосстановлению признается ухудшение количественных и качественных характеристик лесных насаждений, созданных по результатам проектной деятельности. При этом, методология не содержит каких-либо иных рисковых ситуаций кроме форс-мажорных обстоятельств, которые являются по существу лишь небольшой частью рисковых ситуаций, а исполнителю проекта дается рекомендация провести комплексную оценку рисков осуществления проектной деятельности с использованием классического инструмента риск-менеджмента в виде матрицы рисков.

Вместе с тем, в самой методологии представлена матрица рисков, имеющая лишь опосредованное отношение к анализу рисков, не учитывает существующие методические принципы анализа рисков (в рамках национальных стандартов по анализу рисков), стратегий воздействия на риски и идентификации рисков. Таким образом, становится объективной низкая эффективность методического обеспечения анализа рисков реализации лесоклиматических проектов.

Вызывает обоснованные вопросы отсутствие конкретизации методологического обеспечения и инструментария анализа рисков реализации лесоклиматических проектов, что приводит к неопределенности для бизнес-сообщества и снижает его заинтересованность в осуществлении проектной деятельности, связанной с природно-климатическими решениями. Итогом такого отношения к анализу рисков становится абсолютное непонимание исполнителями проектов воздействий на природные экосистемы естественных и антропогенных факторов, а также процедуры вычета объемов углеродных единиц, утраченных в рамках рисковых событий.

На практике раскрытая проектная документация ПАО «СИБУР Холдинг» содержит раздел, связанный с утечками вследствие влияния на рынок и утечками вследствие смены видов деятельности [10]. По первой категории утечек обоснование установлено в соответствии с методологией. Так, указано на несущественность рисков и отсутствие необходимости в их оценке. По второй категории утечек приведено обоснование отсутствия риска согалсно методологии.

Исходя из этого, ни по одному из реализуемых в Российской Федерации не проведен анализ рисков в соответствии с действующими стандартами управления рисками проектов и риск-менеджмента. Сложившаяся ситуация может негативно сказаться на реализации лесоклиматических проектов в дальнейшем и привести к снижению инвестиционной

привлекательности природно-климатических решений в целом. При этом, теоретическая база оценки рисков для реализации таких проектов также не разработана.

Актуальными остаются вопросы климатических рисков, которые рассматриваются как в отечественных [11], так и в зарубежных [12] источниках. Вместе с тем, общая концепция риск-ориентированного управления лесоклиматическими проектами как таковая не описана до настоящего времени. В первой итерации она может быть представлена исходя из изначальных целей проекта.

Так, поскольку цель лесоклиматического проекта заключается в сокращении выбросов и увеличении поглощения парниковых газов в рамах лесных экосистем, в том числе, в выпуске по его итогам углеродных единиц (что является неочевидным, поскольку результаты проекта различаются в рамках международной системы стандартизации и национальном регулировании), целесообразно в первую очередь, выявить взаимосвязь факторов, оказывающих влияние на сокращение количества углеродных единиц (утрату результатов проектной деятельности), а уже впоследствии выявлять конкретные причины такого сокращения.

Среди факторов, оказывающих непосредственное влияние на результаты реализации лесоклиматического проекта, следует выделить природные факторы, экономические факторы и факторы антропогенного характера. К природным факторам следует отнести природно-климатические условия реализации проекта, типы лесорастительных условий, эдафические условия, лесопожарную обстановку (зонирование), категории природной пожарной опасности лесов, лесной район, частота опасных явлений погоды и т.д. К экономическим факторам следует отнести объемы инвестиций для реализации лесоклиматического проекта, хозяйственную доступность границ проектной деятельности, рыночную стоимость углеродных единиц от природно-климатических решений. К факторам антропогенного характера следует отнести негативное воздействие внутри границ проекта, технологические нарушения при проведении работ, неправильная подготовка проектной документации и сопутствующие факторы.

При этом, все эти факторы могут быть разделены на две категории – как воздействующие на проект внутри его границ, а также как воздействующие на эквивалент дополнительного поглощения или сокращения выбросов парниковых газов в виде углеродных единиц. Разделение факторов воздействия на результаты реализации лесоклиматических проектов позволит систематизировать представления об идентификации рисковых ситуаций в рамках осуществления проектной деятельности и выработать правильные стратегии воздействия на эти риски.

Для целей реализации лесоклиматических проектов должна быть выработана концептуальная схема мер по идентификации, анализу и выбору стратегии воздействия на рисковые события с учётом их вероятности и случайности. Только в таком случае возможен благоприятный инвестиционный климат в сфере реализации природно-климатических решений и привлечение новых инвесторов в лесное хозяйство.

Построение этой системы должно происходить с учётом качественной и количественной оценки риска, то есть предварительному выявлению возможных площадей гибели лесов в результате воздействия рисков, на основании которых возможен расчёт объемов углеродных единиц, которые будут недополучены в качестве результата проектной деятельности. При этом, следует учесть, что подходы к таким количественным оценкам к проектам по сокращению выбросов и к проектам по увеличению поглощения парниковых газов должны различаться, поскольку первый тип проектов предполагает сохранение существующих лесных экосистем, тогда как второй тип проектов предполагает формирование новых или восстановление ранее существовавших лесов.

В таком случае, количественная оценка рисков должна для первого типа проектов включать расчёты, связанные с потенциальной гибелью лесных насаждений, тогда как для второго типа проектов – также расчёты, связанные с отпадом насаждений и иными аспектами воспроизводства лесов и лесоразведения.

Изложенное позволит повысить объективность оценок объемов углеродных единиц, планируемых к выпуску по результатам реализации лесоклиматических проектов, а также сформировать методические рекомендации по риск-ориентированному управлению проектами, связанными с природно-климатическими решениями. Так, их основа должна быть определена с учётом классификационных признаков факторов и рисковых ситуаций, возможностей построения матрицы рисков, установления общих принципов учёта рисков для каждого конкретного проекта.

Так, национальным стандартом по проектным рискам установлена необходимость соблюдения принципов ценности и значимости проекта, интеграции, принятия решений, неопределённости, системности, информационного обеспечения, учёта особенностей проекта, различных факторов, транспарентности, динамичности и гибкости, непрерывного совершенствования.

Эти принципы, безусловно, должны учитываться при реализации лесоклиматических проектов, однако, дополнительно следует учитывать и сопутствующие принципы риск-ориентированного управления такой проектной деятельностью, а именно:

1. Взаимосвязи рисков с конкретным проектом. Идентификация рисков лесоклиматического проекта должна приводить к подробному описанию конкретных рисковых ситуаций для каждого лесного участка, вовлеченного в проектную деятельность, соответствовать существующим природным, экономическим и антропогенным факторам.

2. Приоритет рассмотрения экосистем. Анализ рисков должен осуществляться исполнителем лесоклиматического проекта исходя из выявленных природных условий реализации такого проекта и учитывать возможности воздействия в границах проекта различных явлений природы, которые могут оказывать как положительное, так и негативное влияние на результаты проекта.

3. Определение рисков исходя из этапов проектной деятельности. Идентификация рисков должна производится с учётом разделения рисковых ситуаций на краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные в связи с длительностью проектной деятельности в рамках природно-климатических решений.

4. Выбор стратегии воздействия на риск, способствующей минимизации ущерба от реализации таких рисков. Так, при реализации некоторых рисков возможна полная утрата результатов реализации лесоклиматических проектов. Более того, возможна ситуация, в которой при попытке минимизации одного риска реализуется другой риск. Например, при прокладке минерализованных полос будут нарушены экосистемные связи в лесах в границах проекта, из-за чего будет утеряна часть результатов проектной деятельности. Исходя из этого, требуется подбор оптимальных мер воздействия на риски исходя из наиболее целесообразной стратегии.

5. Включение информации о реализованных рисках в отчёт о реализации проекта. Таким образом должна быть зафиксирована утрата части результатов лесоклиматического проекта, при этом, должна быть обеспечена возможность пересчета объемов поглощения или сокращения выбросов парниковых газов в случае, если исполнителем проекта будут предприняты дополнительные меры по восполнению утраченных результатов.

Учёт этих пяти дополнительных принципов учёта рисков при реализации лесоклиматических проектов позволит перейти к динамическому и более гибкому управлению проектной деятельностью, сформировать новый подход к оценке результатов таких проектов и определит возможности для внесения изменений в проектную документацию. Исходя из этого, станет целесообразным дополнительное внесение изменений в действующее институциональное регулирование проектной деятельности, а также более объективно подойти к разработке стандартов реализации лесоклиматических проектов исходя из типологии проектов, категории рисков, а также существующих в границах проекта природных, экономических и антропогенных факторов.

Таким образом, в рамках настоящей работы показана необходимость совершенствования системы управления рисками при реализации лесоклиматических

проектов, что должно способствовать повышению транспарентности для заинтересованных лиц как в конкретном проекте, так и в рамках системы стандартов. С учётом изложенного, представленные в настоящей статье принципы учёта соответствующих рисков должны дополнительно сформировать условия для повышения эффективности реализации лесоклиматических проектов.

Список литературы

1. Реестр углеродных единиц / Официальный сайт. – URL: https://carbonreg.ru/ru/ (дата обращения: 14.08.2025).

2. Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ / СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 20.08.2025).

3. Морковина, С. С. Лесохозяйственные мероприятия в системе обеспечения углеродного баланса России / С. С. Морковина, Е. А. Колесниченко, С. С. Шешницан // Саяпинские чтения: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Тамбов, 01 апреля 2025 года. – Тамбов: Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, 2025. – С. 262-268.

4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/726639341 (дата обращения: 12.08.2025).

5. Лесные климатические проекты: возможности и проблемы реализации ESG-подхода. Часть 1 / Г. А. Фоменко, А. А. Романовская, М. А. Фоменко [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2022. – № 2. – С. 91-106.

6. Шварц, Е. А. Стратегия низкоуглеродного развития России и роль лесов в ее реализации / Е. А. Шварц, А. В. Птичников // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2022. – Т. 236, № 4. – С. 399-426.

7. Морковина, С. С. Методика определения коэффициентов углеродоемкости инвестиционных затрат при реализации лесных климатических проектов / С. С. Морковина, О. А. Нетребская // Актуальные вопросы теории и практики финансово-хозяйственной деятельности: Сборник материалов IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Воронеж, 30 марта 2022 года. – Воронеж, 2022. – С. 53-58.

8. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов парниковых газов из источников и их абсорбции поглотителями за 1990 – 2023 гг. / Сайт РКИК ООН. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RUS_NIR_2025_v1_rev_2025-04-18.pdf (дата обращения: 01.09.2025).

9. Методология реализации климатического проекта № 0010 «Лесовосстановление» / Сайт реестра углеродных единиц. – URL: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/СРМ%20№0010_rus.pdf (дата обращения: 10.09.2025).

10. Проектная документация климатического проекта «Создание углерододепонирующих насаждений в рамках программы «Зеленая формула» в Республике Татарстан, Нижегородской области, Тюменской области» / Сайт реестра углеродных единиц. – URL: https://carbonreg.ru/projects/34/main/Проектная%20документация_для%20публикации.pdf (дата обращения: 10.09.2025).

11. Инструментарий оценки уровня опасности климатических рисков в лесном хозяйстве / А. О. Сорока, Е. И. Семенова, И. С. Недбаев, А. В. Константинов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – № 251.

12. Climate risk assessment in insurance: A USA and Africa Review / O. Odunaiya, C. Okoye, E. Nwankwo, T. Falaiye // International Journal of Science and Research Archive. – 2024. - № 11. -

P. 2072-2081. – URL: https://www.researchgate.net/publication/378309292_ Climate_risk_assessment_in_insurance_A_USA_and_Africa_Review (дата обращения: 03.09.2025).

References

1. Carbon Units Registry / Official website. – URL: https://carbonreg.ru/ru / (accessed: 14.08.2025).

2. Forest Code of the Russian Federation No. 200-FZ dated December 4, 2006 / SPS ConsultantPlus. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299 / (accessed: 20.08.2025).

3. Morkovina, S. S. Forestry measures in the system of ensuring the carbon balance of Russia / S. S. Morkovina, E. A. Kolesnichenko, S. S. Sheshnitsan // Sayapinsky readings: Proceedings of the VIII type in the scientific and practical International conference. In 2 parts, Tambov, April 01, 2025. Tambov: Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 2025, pp. 262-268.

4. Ordinance of the Government of the Russian Federation dated October 29, 2021 No. 3052-r on approval of the Strategy for socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050 / Electronic Fund of Legal and Regulatory Documents. – URL: https://docs.cntd.ru/document/726639341 (accessed: 12.08.2025).

5. Forest climate projects: opportunities and prospects for the development of ESG- approach. Part 1 / G. A. Fomenko, A. A. Romanovskaya, M. A. Fomenko [and others] // Problems of regional ecology. - 2022. – No. 2. – pp. 91-106.

6. Shvartz, E. A. The strategy of low-carbon development of Russia and the role of forests in its implementation / E. A. Shvartz, A.V. Ptichnikov // Scientific papers of the Free Economic Society of Russia. – 2022. – Vol. 236, No. 4. – pp. 399-426.

7. Morkovina, S. S. Methodology for determining carbon intensity coefficients of investment costs in the implementation of forest climate projects / S. S. Morkovina, O. A. Netrebskaya // Actual issues of theory and practice of financial and economic activity: in the Collection of materials at the IV All-Russian (national) scientific and practical Conference, Voronezh, March 30, 2022. Voronezh, 2022. pp. 53-58.

8. National report on the inventory of anthropogenic greenhouse gas emissions from sources and their removals by sinks for 1990-2023 / UNFCCC website. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RUS_NIR_2025_v1_rev_2025-04-18.pdf (accessed: 01.09.2025).

9. Methodology for the implementation of climate project No. 0010 «Reforestation» / Website of the Carbon Units Registry. – URL: https://carbonreg.ru/pdf/methodology/accepted/CPM%20 No.0010_rus.pdf (accessed: 10.09.2025).

10. Project documentation of the climate project «Creation of carbon-depositing plantings within the framework of the Green Formula program in the Republic of Tatarstan, Nizhny Novgorod region, Tyumen region» / Website of the Carbon Units Registry. – URL: https://carbonreg.ru/projects/34/main/Проектная%20документация_для%20публикации.pdf (accessed: 10.09.2025).

11. Tools for assessing the level of danger of climate risks in forestry / A. O. Soroka, E. I. Semenova, I. S. Nedbaev, A.V. Konstantinov // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. – 2024. – № 251.

12. Assessment of climate risks in insurance: a review of the USA and Africa / O. Odunaya, K. Okoye, E. Nwankwo, T. Falaye // International Journal of Science and Research Archive. – 2024. - No. 11. - pp. 2072-2081. – URL: https://www.researchgate.net/publication/378309292_ Climate_risk_assessment_in_insurance_A_USA_and_Africa_Review (date of request: 09/03/2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_262-266
УДК 334.5

ЛЕСОПАРКОВЫЕ ЗЕЛЕНЫЕ ПОЯСА КАК ЭЛЕМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Н.Н. Макаренко
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

GREEN BELTS IN FOREST PARKS AS AN ELEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN URBAN AREAS: ECOLOGICAL AND SOCIO-ECONOMIC SIGNIFICANCE

N.N. Makarenko
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация.
В статье проведен комплексный анализ экологической и социально-экономической значимости лесопарковых зеленых поясов в контексте устойчивого развития городов при нарастающей урбанизации. Раскрыты принципы их формирования и функциональной организации, показана роль в поддержании экологического баланса, сохранении биоразнообразия, повышении климатической устойчивости и улучшении качества городской среды и условий жизни населения. Рассмотрены ключевые функциональные аспекты зеленых поясов, включая экологические, социальные и экономические эффекты, а также идентифицированы основные угрозы их устойчивому функционированию. В качестве приоритетных направлений охраны предложен комплекс мер, включающий усиление природоохранной политики, развитие механизмов участия местных сообществ в экологических инициативах и интеграцию устойчивых управленческих и планировочных практик в систему городского развития.

Abstract.
The article provides a comprehensive analysis of the environmental and socio-economic significance of forest-park green belts in the context of sustainable urban development in the context of increasing urbanization. The principles of their formation and functional organization are revealed, and their role in maintaining the ecological balance, preserving biodiversity, increasing climate resilience, and improving the quality of the urban environment and living conditions of the population is demonstrated. The key functional aspects of green belts, including their environmental, social, and economic effects, are examined, and the main threats to their sustainable functioning are identified. A set of measures has been proposed as a priority for environmental protection, including strengthening environmental policies, developing mechanisms for local community participation in environmental initiatives, and integrating sustainable management and planning practices into urban development systems.

Ключевые слова: *лесопарковые зеленые пояса, урбанизация, устойчивое развитие, социально-экономическая значимость, экологическая значимость*

Keywords: forest park green belts, urbanization, sustainable development, socio-economic importance, ecological significance

© Макаренко Н. Н., 2025

В условиях ускоренной урбанизации и интенсивного антропогенного воздействия на окружающую среду лесопарковые зеленые пояса приобретают особую актуальность как ключевой элемент устойчивого развития городских территорий. Эти природные комплексы, формирующие защитные зоны вокруг мегаполисов способствуют сохранению экологического баланса и вносят значительный вклад в социально-экономическое благополучие общества. Согласно федеральному законодательству Российской Федерации, включая Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ с поправками 2016 года, лесопарковые зеленые пояса определяются как территории с ограниченным режимом хозяйственной деятельности, предназначенные для поддержания экологической стабильности и улучшения качества жизни населения [1].

Лесопарковые зеленые пояса занимают ключевое место в обеспечении экологического благополучия городов и существенно влияют на качество жизни их жителей. В контексте урбанизированных территорий они выступают в роли естественных барьеров, способствующих смягчению негативных антропогенных воздействий, таких как загрязнение воздуха, почвенная эрозия и потеря биоразнообразия [2].

Зелёные пояса проектируются и развиваются с учётом нескольких ключевых целей, связанных с охраной природы, устойчивым развитием и экономическими выгодами. Они выполняют ряд функций, способствуя повышению климатической и экологической устойчивости городов, а значит — их способности противостоять и адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. В совокупности эти функции улучшают качество городской среды и усиливают жизненный комфорт населения (см. рис. 1).

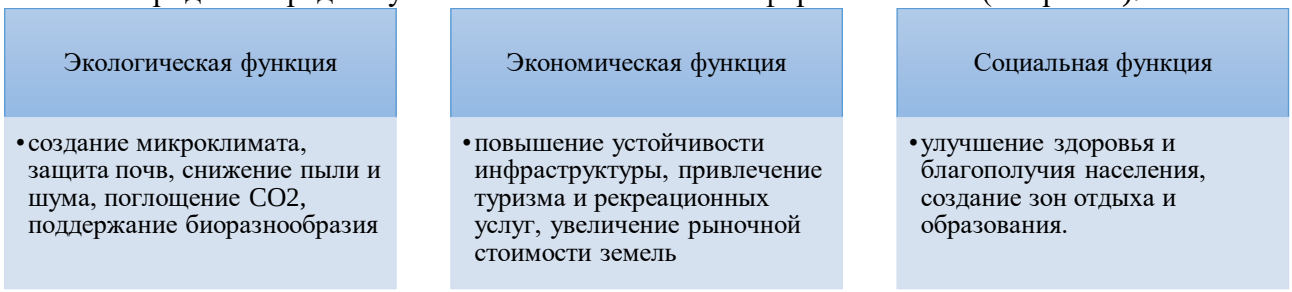


Рисунок 1 - основные функции лесопарковых зеленых полос

В современных условиях городского планирования лесопарковые зеленые пояса играют ключевую роль как элемент стратегии устойчивого развития. Их основная функция состоит в обеспечении гармоничного взаимодействия природной среды и городской инфраструктуры, что способствует формированию комфортных и экологически чистых городских пространств. Лесопарковые зеленые пояса обеспечивают непрерывность зелёной инфраструктуры и формирование экологических коридоров, которые представляют собой важные звенья связности между различными зелёными зонами и природными ареалами, обеспечивая эффективное перемещение и доступ к ресурсам для населения.

В научной литературе подчеркивается многогранная роль лесопарковых зеленых поясов как элементов экологической инфраструктуры. Их влияние проявляется в нескольких взаимосвязанных направлениях: они способствуют улучшению качества жизни населения за счет возможностей рекреации и отдыха, предоставляя площадки для физической активности, экологического просвещения и эстетического восприятия окружающей среды. Виды лесной рекреации включают:

Лесная рекреация — пребывание людей на землях лесного фонда в культурно-оздоровительных, туристских и спортивных целях (ОСТ 56-100-95).

Виды лесной рекреации включают [3]:

1) кемпинговая лесная рекреация - многодневное с ночлегом пребывание людей на специально оборудованных на землях лесного фонда стоянках и базах отдыха в целях отдыха, физического развития, развлечений;

2) повседневная лесная рекреация - повседневное без ночлега пребывание людей на землях лесного фонда в целях отдыха, физического развития, развлечения;
3) спортивно-массовые мероприятия - кратковременное без ночлега пребывание людей на землях лесного фонда в целях соревнования и учебно-тренировочных занятий по различным комплексам физических упражнений, включая спортивную охоту, рыбную ловлю и т.п.;
4) лесной туризм - многодневное с ночлегом путешествие группы людей по определенному маршруту на землях лесного фонда в целях отдыха, физического развития, познания, выполнения туристских нормативов;
5) лесная экскурсия - кратковременное без ночлега посещение группы людей достопримечательного объекта на землях лесного фонда в целях познания, обучения, отдыха.

Теоретические подходы к пониманию рекреационной функции лесопарков складываются из нескольких взаимодополняющих концепций. С точки зрения экосистемной теории, лесопарки выполняют многофункциональные роли: сохраняют биологическое разнообразие, поддерживают экосистемные услуги и создают благоприятную среду для отдыха и восстановления человека. Социологические и культурные подходы подчёркивают социально-политический контекст краевого ландшафта, роль парков в формировании общественного благополучия, ценности пространства отдыха для местных жителей и туристов, а также влияние культурных практик на использование зеленых зон [4]. Экономические теории рассматривают рекреацию как часть неспециализированного рынка благ, где ценность природной среды оценивается через туризм, досуг и затраты на поддержание инфраструктуры, при этом учитываются внешние эффекты и общественный интерес.

Теоретические основы социально-экономической значимости зелёных зон базируются на комплексном понимании их роли в формировании гармоничного общества и устойчивой экономики. Влияние на общество проявляется прежде всего в повышении качества жизни жителей через расширение рекреационных возможностей: парки и скверы становятся местами для отдыха, спорта и общения, что снижает уровень стресса и способствует физическому благополучию [5]. Экономический эффект очевиден в стимулировании туризма – привлекательные зеленые пространства притягивают посетителей, увеличивая доходы от туристической индустрии, включая отели, кафе и экскурсии. Наличие таких зон часто приводит к росту стоимости жилья в прилегающих районах, поскольку люди предпочитают жить в экологически чистых и комфортных условиях, что в целом повышает капитализацию недвижимости и стимулирует инвестиции в городскую среду.

Анализ экономических аспектов подчеркивает создание новых рабочих мест в сфере ухода за зелеными насаждениями: от ландшафтных дизайнеров и садовников до специалистов по экологии и управлению парками. Это снижает безработицу и способствует развитию связанных отраслей. В контексте устойчивого развития городов зеленые зоны вносят вклад в снижение энергопотребления за счет естественной терморегуляции, улучшения качества воздуха и предотвращения эрозии почв, что в долгосрочной перспективе экономит бюджетные средства на здравоохранение и инфраструктуру.

Социальный эффект зеленых зон проявляется в улучшении психического здоровья населения, что особенно актуально в условиях урбанизированной жизни с ее ритмом и загрязнением. Зеленые зоны укрепляют сообщества через совместные экологические инициативы, способствуя формированию чувства принадлежности и ответственности.

Лесопарковые зеленые пояса сталкиваются с несколькими серьезными угрозами, которые существенно влияют на их экосистемы и функциональность (см. рис. 2).

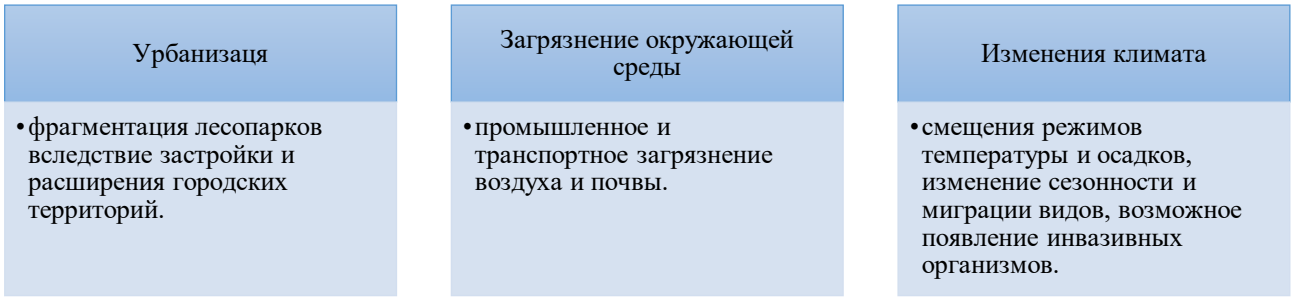


Рисунок 2 – Угрозы и риски влияния лесопарковых зеленых поясов на экосистемы и их функциональность.

Для предотвращения указанных проблем необходимы системные и междисциплинарные меры охраны окружающей среды. Первым шагом целесообразно определить и ввести в эксплуатацию охраняемые территории и буферные зоны вокруг лесопарков и зелёных поясов, что позволит снизить урбанизационные нагрузки, сохранить биологическое разнообразие и функциональные экосистемные услуги. Вторым шагом следует развивать экологические инициативы, направленные на снижение выбросов загрязняющих веществ, сокращение загрязнения почв и водных объектов, а также внедрение экологически чистых и энергоэффективных технологий в муниципальных и промышленных секторах. Важной составляющей является образование и вовлечение местного населения в процессы охраны окружающей среды: формирование экологического мышления, участие в мониторинге состояния территорий, волонтёрские программы и совместные проекты с муниципальными структурами. Программы повышения осведомлённости должны объяснять населению значимость сохранения зелёных поясов, их роль в поддержании качества жизни, регуляции микроклимата, росте туристической привлекательности и устойчивом развитии местного бизнеса.

Перспективы развития и управления лесопарковыми зелеными поясами основаны на комплексном подходе, где интеграция с городской инфраструктурой и активное участие общественности становятся центральными элементами стратегий сохранения и устойчивого использования. Важной составляющей является применение принципов устойчивого развития, включая восстановление экосистем, создание новых насаждений и поддержание биоразнообразия.

Лесопарковые зеленые пояса являются важной природной и социальной инфраструктурой, оказывающей многогранное влияние на экологическую устойчивость, качество жизни населения и экономическое развитие регионов. Их эффективное функционирование требует системного подхода к управлению, мониторинга и финансирования, а также активного вовлечения местной общности и бизнеса. Внедрение унифицированных методик оценки, разумная интеграция в городскую инфраструктуру и активное участие населения и бизнеса создают базу для устойчивого будущего городских территорий.

Список литературы

1. Федеральный Закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об охране окружающей среды» – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/0e213755f82d5ecbe577e2340e0e1e3f07b7763c/
2. Виноградов В.А., Солдатова Л.В., Тайбаков А.А. Отдельные аспекты реализации конституционных прав на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду // Общество и право. 2017. №4. С. 203–207.
3. Стандарт отрасли ОСТ 56-100-95 "Методы и единицы измерения рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы" (утв. приказом Рослесхоза от 20 июля 1995 г.
N 114) – URL: Стандарт отрасли ОСТ 56-100-95 "Методы и единицы измерения

рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы" (утв. приказом Рослесхоза от 20.07.1995 N 114) | ГАРАНТ
4. Зиновьева О.А. Современные тенденции правового регулирования защиты зеленых насаждений в городах федерального значения Российской Федерации // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина. 2019. №1. С. 129–136. – URL: https://doi.org/10.17803/2311-5998.2019.53.1.129-136.
5. Загидуллин, Р. А. Оценка экологического состояния и повышение устойчивости лесопаркового зеленого пояса города Ульяновска / Р. А. Загидуллин // Актуальные исследования. – 2022. – № 35(114). – С. 10-15. – EDN HTXRCK.

References

1. Federal Law No. 7-FZ of 10.01.2002 (as amended on 29.07.2017) "On Environmental Protection" – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/0e213755f82d5ecbe577e2340e0e1e3f07b7763c/

2. Vinogradov V.A., Soldatova L.V., Taybakov A.A. Certain aspects of the realization of constitutional rights to health protection and a favorable environment // Society and Law. 2017. No. 4. pp. 203-207.

3. Industry standard OST 56-100-95 "Methods and units of measurement of recreational loads on forest natural complexes" (approved by Rosleskhoz Order No. 114 dated July 20, 1995) – URL: Industry standard OST 56-100-95 "Methods and units of measurement of recreational loads on forest natural complexes" (approved by Rosleskhoz Order No. 114 dated July 20, 1995) | THE GUARANTOR

4. Zinovieva O.A. Modern trends in the legal regulation of the protection of green spaces in cities of federal significance of the Russian Federation // Bulletin of the O.E. Kutafin University. 2019. No. 1. pp. 129-136. – URL: https://doi.org/10.17803/2311-5998.2019.53.1.129-136

5. Zagidullin, R. A. Assessment of the ecological status and increasing the sustainability of the forest park green belt of the city of Ulyanovsk / R. A. Zagidullin // Current research. – 2022. – № 35(114). – Pp. 10-15. – EDN HTXRCK.

DOI: 10.58168/Forestry2025_267-275
УДК 332.1

КРИТЕРИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ МАЛОЛЕСНЫХ РЕГИОНОВ

И.И. Марчук

старший преподаватель кафедры «Менеджмента и экономики предпринимательства»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Экономические, экологические и социальные критерии рационального использования лесных ресурсов содержат в себе индикаторы, которые находятся в тесной взаимосвязи и взаимозависимости. Экономические критерии способствуют максимизации стоимости лесной продукции, диверсификации доходов и обеспечению инвестиционной привлекательности. Экологические критерии соблюдают принцип непрерывного и неистощительного пользования лесных ресурсов, сохранение биологического разнообразия. Социальные критерии позволяют создавать и поддерживать рабочие места в лесной и смежных отраслях, обеспечивают доступность лесов для удовлетворения рекреационных потребностей граждан, поддерживают социальную инфраструктуру. Данные критерии образуют устойчивую систему, где пренебрежение одним элементом неминуемо ведет к деградации всей системы, что особенно недопустимо на малолесных территориях, где лес играет защитную роль.

Ключевые слова: рациональное использование, критерии, лесные ресурсы, устойчивое лесопользование.

CRITERIA FOR RATIONAL USE OF FOREST RESOURCES IN LOW-FOREST REGIONS

I.I. Marchuk
Senior Lecturer, Department of Management and Economics of Entrepreneurship

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. Economic, environmental and social criteria for the rational use of forest resources contain indicators that are closely interconnected and interdependent. Economic criteria help maximize the value of forest products, diversify income and ensure investment attractiveness. Environmental criteria comply with the principle of continuous and sustainable use of forest resources, and preserve biological diversity. Social criteria allow creating and maintaining jobs in the forestry and related industries, ensure the availability of forests to meet the recreational needs of citizens, and support social infrastructure. These criteria form a sustainable system, where neglect of one element inevitably leads to degradation of the entire system, which is especially unacceptable in sparsely forested areas where forests play a protective role.

Keywords: rational use, criteria, forest resources, sustainable forest management.

© Марчук И. И., 2025

Лесные ресурсы являются неотъемлемым потенциалом развития экономики страны. Экономическая и иная деятельность, связанная с использованием леса, представляет собой лесной комплекс, в состав которого входит лесное хозяйство, лесозаготовительные производства, деревообработка и переработка древесины.

В условиях ограниченности лесного фонда малолесных регионов и его повышенной ресурсообразующей, средообразующей, социально-экономической значимостью, необходимо рассмотреть и проанализировать критерии рационального использования лесных ресурсов, что являются важным аспектом при эффективном ведении лесопользования. Такие критерии на законодательном уровне не прописаны, но исходя из видов целевого использования лесов малолесных регионов, мы можем определить и проанализировать данные критерии (рисунок 1).

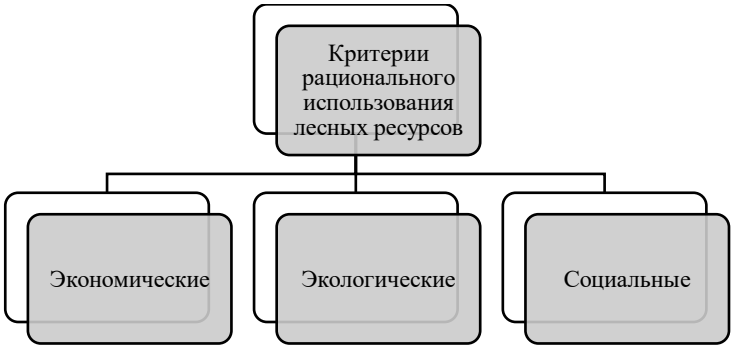


Рисунок 1 – Критерии рационального использования лесных ресурсов малолесных регионов

Экономические критерии при определении рационального использования лесных ресурсов малолесных регионов способствуют увеличению поступления доходов в бюджеты страны, развитию региона и повышению конкурентоспособности лесной отрасли. К экономическому критерию можно отнести критерий поддержки и сохранения продуктивности лесных ресурсов, состоящий из нескольких индикаторов (рисунок 2).

Индикаторы экономического критерия использования лесных ресурсов малолесного региона
• Соотношение фактического объема использования лесных ресурсов к запланированным • Объем поступивших платежей в бюджет РФ от использования лесных ресурсов • Передача лесных участков в пользование • Затраты на научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы при использовании земель лесного фонда

Рисунок 40 - Индикаторы экономического критерия использования лесных ресурсов малолесного региона

Эффективность освоения расчетной лесосеки определяется на основе анализа зависимости между запланированной площадью и фактическим объемом пользования лесными ресурсами [1], зачастую расчетные лесосеки используются не в полном объеме. В первую очередь, это связано с отсутствием достаточного количества арендаторов лесных участков из-за низких товарных качеств древесины, высоких расходов на охрану, защиту и воспроизводство лесных ресурсов арендаторами, жестких ограничений ведения деятельности в защитных лесах, высоких ставок платы и т.д.

От фактического объема использования лесных ресурсов зависит сумма поступающих платежей в федеральный и региональный бюджеты РФ, доходы от пользования лесными ресурсами составили 44,6 млрд. рублей (за 2021 год), где 1,1% это доходы с Центрально-

Черноземного региона, такая невысокая доля характеризуется малолесностью региона, где леса не являются эксплуатационными, а носят защитный характер.

Следующим индикатором экономического критерия рационального использования лесных ресурсов это передача лесных участков. В малолесных регионах аренда лесных является основной формой использования лесных ресурсов (таблица 1).

Таблица – Поступление платежей арендной платы за 2021 год

Наименование субъекта РФ	Установлено по договору, руб.			Фактически поступило, руб.		
	Итого за год					
	Всего	в том числе:		Всего	в том числе:	
		в федеральный бюджет	в бюджет субъекта РФ		в федеральный бюджет	в бюджет субъекта РФ
Российская Федерация	46212930700	34659698025	11553232675	44610755786,01	33458066839,508	11152688946,502
Центральный Федеральный округ	6604186866,9	4618566617,3	1985620249,5	6443051731,4	4405516717,7	2037535013,7
Белгородская область	19477834,7	18865654,2	612180,5	19224756,7	18612578,5	612178,2
Воронежская область	233784916,1	120165122,8	113619793,3	240838277,4	124689411,6	116148865,8
Курская область	30546977,3	23581719,8	6965257,5	30199897,1	23559254,9	6640642,2
Липецкая область	7557832,4	7014931,5	542900,9	7558691,6	7016790,7	541900,9
Тамбовская область	4551283,8	4495921,8	55362,0	4570601,9	4513958,5	56643,4

Более 90% платежей арендаторов Белгородской, Липецкой и Тамбовской областей поступает в федеральный бюджет. Средства федерального бюджета распределяются на защиту и воспроизводство лесных ресурсов, увеличение заработной платы работников лесной отрасли, на выполнение лесопатологического обследования и т.д.

На арендаторов лесных участков возлагаются обязанности по охране, защите, воспроизводству лесов на арендованной территории [3], что может влиять на финансовое положение арендаторов и приводить к возникновению задолженностей по оплате арендных платежей и, как следствие, недополучение дохода в бюджет страны

При рациональном использовании лесов, следует учитывать критерий затрат на научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы при использовании лесного фонда, которые представляют практическую выгоду для лесного бизнеса в случае использования разработок научных организаций. Организация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ включает использование механизма государственно-частного партнерства, совмещение во времени фундаментальных, прикладных и опытно-технологических работ, целенаправленных на развитие экспериментальной базы, масштабирование при переходе от исследовательских работ в лабораторных условиях к опытно-промышленной проверке [10].

Специфика использования лесных ресурсов неразрывно связана с их ролью в социальной сфере деятельности человека, особенно в регионах с высокой плотностью населения и малой степенью лесистости, поэтому рациональное использование лесных ресурсов включает в себя социальные критерии (рисунок 3).

Социальные критерии рационального использования лесных ресурсов	Занятость населения в лесной промышленности
	Реализация национальных проектов

Рисунок 3 - Социальные индикаторы рационального использования лесных ресурсов

Лесной сектор экономики включает в себя широкий спектр отраслей, в Центрально-Чернозёмном регионе, как представителя малолесного региона, численность населения занятого в лесном хозяйстве составляет 495,8 тыс. человек (рисунок 4) [9].

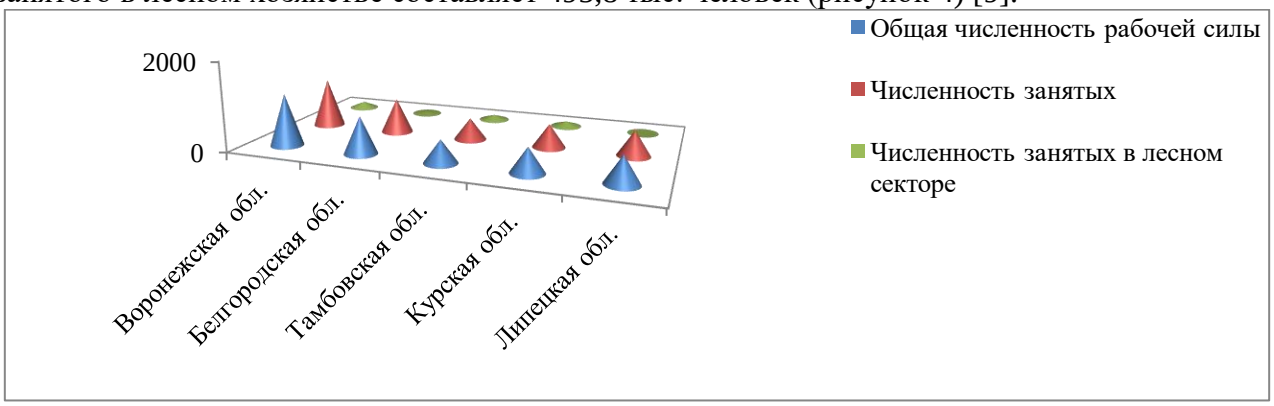


Рисунок 4 – Сравнение численности занятого населения ЦЧР в лесном секторе с общей численностью рабочей силы и численностью занятых, за 2022 год, чел.

Воронежская область находится на первом месте среди регионов Центрального Черноземья, как по общей численности рабочей силы, так и по численности занятых в лесном секторе (155,7 тыс. чел.), Тамбовская область находится на втором месте и насчитывает 116 тыс. чел. занятых в лесном хозяйстве, немного уступает Курская область (115 тыс. чел.), далее следуют Липецкая и Белгородская области (66,1 тыс. чел. и 43 тыс. чел. соответственно). В целом по ЦЧР количество человек занятых в лесном секторе составляет около 13,5% от общей численности занятых, такой невысокий процент отмечается малолесностью региона. В основном люди заняты в производстве продукции высоких переделов (производство фанеры, древесных плит, мебели).

При рациональном использовании лесных ресурсов важно исполнение национальных проектов по сохранению лесов [8]. В работу таких проектов включаются и регионы, и население страны. В настоящее время в России действует несколько таких национальных проектов: проект «Экология»; федеральный проект «Сохранение лесов» [6], который изначально был ограничен 2024 годом, но продлен до 2030 года. Количество населения страны, вовлеченного в мероприятия по охране, защите и воспроизводству лесов на 2022 год составляет 1,7 миллионов человек [10]. Реализация таких проектов позволит повысить рост уровня жизни населения малолесных регионов и способствовать устойчивому социальному развитию.

Экологический критерий является фундаментальным, поскольку леса представляют собой динамичные экосистемы, обеспечивающий ключевые биосферные функции.

Защита, охрана, восстановление и лесоразведение являются важными аспектами при рациональном использовании [4] лесных ресурсов малолесных регионов, ведь леса таких субъектов выполняют важные экосистемные функции (рисунок 5).

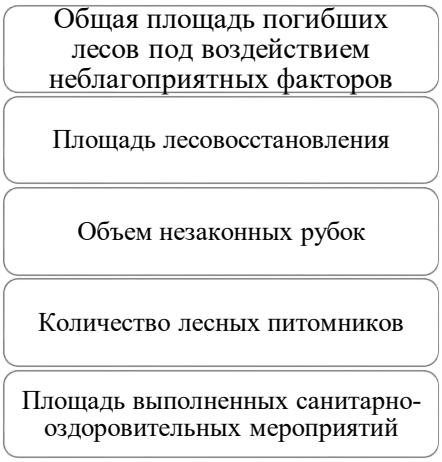


Рисунок 5 - Экологические индикаторы рационального использования лесных ресурсов

Следует отметить, что лесные экосистемы представляют собой не статичные, а высокодинамичные образования, пребывающий в состоянии непрерывного изменения. Данная динамика детерминирована комплексным воздействием двух фундаментальных групп факторов: антропогенных и естественных природных сил. Леса с 2019 года сократились на 400 тыс. га. На период 2022 года насчитывается 10800 тыс. га погибших и поврежденных лесных насаждений, из них по причине пожара – 53,7% с ущербом 8,4 млрд. руб. (таблица 2) [10].

Таблица 2 – Площадь погибших и поврежденных лесных участков и лесных ресурсов в разрезе федеральных округов на 2021 год

Факторы	Площадь погибших и поврежденных лесных участков, га			В т.ч. погибшие лесные насаждения, га		
	ЦФО	ЮФО	СКФО	ЦФО	ЮФО	СКФО
Лесные пожары	1606,31	23359,269	2639,7	684,68	17350,6	402,5
Повреждение насекомыми	6658,59	1904,08	59,9	1211,82	489,55	0
Погодные условия и почвенно-климатические факторы	9275,62	73940,681	40802,45	504,74	4406,32	576,5
Болезни леса	92230,38	41584,791	6562,24	1497,25	132,52	54,1
Повреждение дикими животными	24,70	114	0	3,10	2	0
Антропогенные факторы	602,41	2926,3	21360,78	41,50	0,4	71,9
Непатогенные факторы	3510,10	8248,3	8357,15	0	0	0

Т.к. все регионы Южного и Северо-Кавказского федеральных округов являются малолесными, то Центральный округ представлен разной степенью лесистости своей территории, поэтому для анализа мы пользовались данными только малолесных регионов ЦФО (Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Тамбовская, Орловская, Тульская области).

Наибольшая площадь погибших и поврежденных лесных участков возникает из-за болезней леса, погодных условия и почвенно-климатические факторов, иначе складывается ситуация при анализе площади погибших лесных насаждений, основным фактором являются

пожары. Такая высокая площадь повреждения и гибели лесных участков малолесных регионов недопустимо при рациональном использовании, поэтому рассмотрим следующий критерий - площадь выполненных санитарно-оздоровительных мероприятий (рисунок 6) [10].

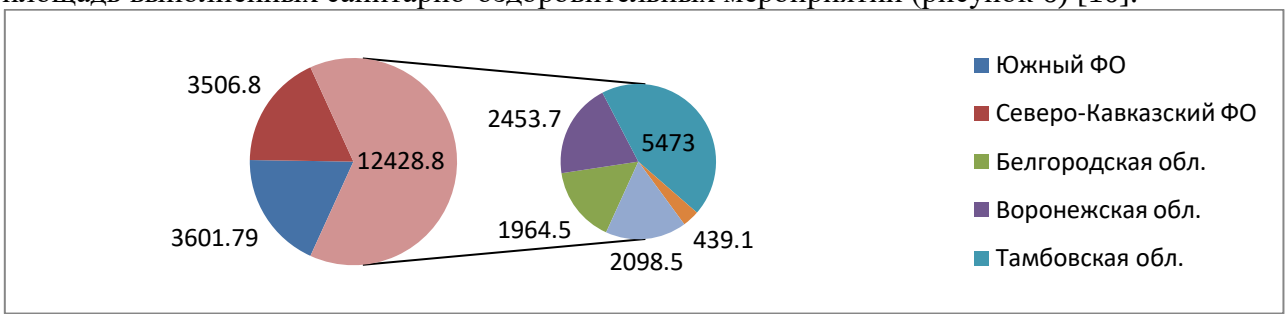


Рисунок 6 – Площадь санитарно-оздоровительных мероприятий малолесных регионов за 2022 год, га

Санитарно-оздоровительные мероприятия выполняют роль экологической безопасности, повышения интереса к рекреационному использованию лесов, обеспечивают экономическую целесообразность, позволяют сохранять биоразнообразие [7].

Объем незаконных рубок все еще остается одной из важных проблем при рациональном пользовании ресурсов малолесных регионов (рисунок 7) [10].

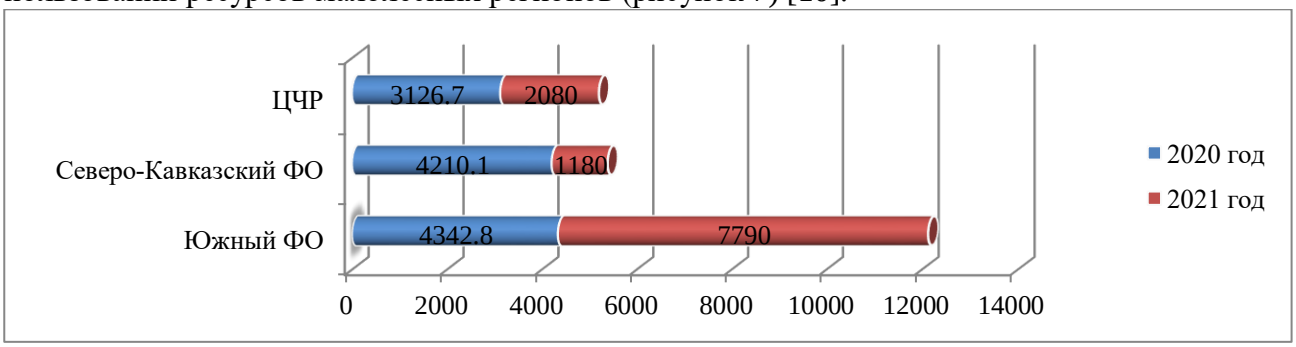


Рисунок 7 – Объем незаконных рубок малолесных регионов за период 2020-2021 гг., м^3

Нарушение лесного законодательства фиксируется благодаря дистанционному мониторингу лесничеств, но, к сожалению, под космическим контролем находится только 35% лесных земель, и это в основном те регионы, где ведется активная лесозаготовка поэтому для малолесных регионов незаконные рубки остаются первостепенной проблемой.

При переходе к рациональному использованию лесов, особое внимание уделяется такому критерию, как лесовосстановление (таблица 3) [10].

Таблица 3 – Площадь лесовосстановления и лесоразведения малолесных регионов за 2023 год

Субъект РФ	Лесовосстановление и лесоразведение на землях лесного фонда, га		из них искусственное и комбинированное лесовосстановление, га	
	Всего	В том числе за счёт арендаторов лесных участков	Всего	В том числе за счёт арендаторов лесных участков
Центральный ФО (представленный ЦЧР)	3503,71	682,82	3486,81	3330,35
Северо-Кавказский ФО	1925,50	48,00	449	0,00
Южный ФО	6189,26	204,18	5455,18	7,00

Наибольшая площадь лесовосстановления и лесоразведения в 2023 году приходится на Южный ФО – 6189,26 га, из них на долю искусственного и комбинированного лесовосстановления приходится 88,14%. В ЦЧР искусственное и комбинированное лесовосстановление практически выполнено арендаторами – 95,5% от общей площади, а вот в Северо-Кавказском ФО арендаторы лесных участков не проводили данный вид лесовосстановления.

Лесоввостановление и лесоразведение обеспечивается благодаря лесопосадочному материалу, который выращивается в лесных питомнических комплексах (рисунок 8) [10].

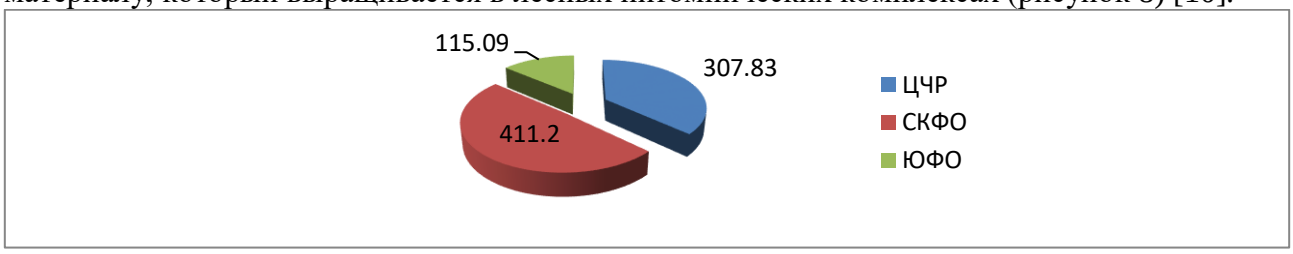


Рисунок 8 – Площадь лесных питомников на землях лесного фонда малолесных регионов на 14 апреля 2023 г., га

Переход к инновационным технологиям выращивания лесопосадочного материала в малолесных регионах определен растущим спросом на устойчивые к неблагоприятным климатическим факторам древесные растения. Качественный лесопосадочный материал является основой процессов лесовосстановления и лесоразведения, именно поэтому особый интерес для малолесных регионов представляют инновационные технологии в области выращивания древесных лесных ресурсов [5].

Рациональное использование лесных ресурсов важный аспект в малолесных регионах страны. Защитные функции лесов требуют своевременного и качественного лесовосстановления, проведения мероприятий по охране и защите лесных земель. Развитие лесной инфраструктуры и реализация выполнения национальных проектов по сохранению лесов играют важную социальную роль для населения регионов с дефицитными лесными ресурсами. Передача лесных участков в аренду и заключение договоров купли-продажи способствуют развитию государственно-частного партнерства, что важно в рыночной экономике, объем денежных поступлений в бюджет страны от пользования лесными ресурсами предопределяет экономическое развитие региона.

Гармоничная интеграция триединой системы критериев рационального использования лесных ресурсов является императивом для обеспечения устойчивого развития лесного сектора.

Список литературы

1. Васильев, А. А. Анализ освоения расчетной лесосеки Республики Карелия и основные проблемы её освоения / А. А. Васильев // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS : сборник статей LXIV Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 апреля 2022 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. – С. 64-67.

2. Ведрова, Э. Ф. Динамика экологических функций лесов под воздействием природных и антропогенных факторов / Э. Ф. Ведрова, Л. В. Мухортова, Л. В. Кривобоков // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2018. – Т. 147. – С. 28-31.

3. Гулин, К. А. Проблемы мотивации арендаторов лесных участков на использование эффективных методов лесовосстановления в России / К. А. Гулин, С. В. Дианов, М. Б. Антонов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 108-123.

4. Келепова, М. Е. Леса как объект использования и охраны: проблемы и пути решения / М. Е. Келепова // Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. – 2022. – Т. 2, № 2(37). – С. 46-50.

5. Морковина, С. С. Инновационные технологии в лесном хозяйстве регионов: экономический аспект / С. С. Морковина, Е. А. Панявина, А. Н. Цепляев // Вестник Академии знаний. – 2020. – № 41(6). – С. 206-215.

6. Панявина, Е. А. Финансирование региональных проектов в области сохранения лесов: состояние, перспективы / Е. А. Панявина // Лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы: вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата : Материалы Международного лесного форума, Воронеж, 29–30 сентября 2022 года / Отв. редактор Н.В. Яковенко. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 296-303

7. Полякова, М. Н. Государственно-правовой механизм реализации мер санитарной безопасности в лесах: проблемы и перспективы / М. Н. Полякова // Право и государство: теория и практика. – 2024. – № 7(235). – С. 149-150. – DOI 10.47643/1815-1337_2024_7_149.

8. Фоменко, С. С. Проблемные вопросы реализации федерального проекта «Сохранение лесов» национального проекта «Экология» / С. С. Фоменко, М. О. Отришко // Ключевые тенденции развития общественных финансов в новой экономической реальности : Материалы международной научно-практической онлайн-конференции, Ростов-на-Дону, 12 мая 2022 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный экономический университет "РИНХ", 2022. – С. 148-151.

9. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения 08.09.2025)

10. Официальный сайт Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://rosleshoz.gov.ru/ (дата обращения 10.09.2025).

References

1. Vasiliev, A. A. Analysis of the development of the estimated cutting area of the Republic of Karelia and the main problems of its development / A. A. Vasiliev // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS: collection of articles of the LXIV International scientific and practical conference, Penza, April 30, 2022. - Penza: Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.), 2022. - P. 64-67. 2. Vedrova, E. F. Dynamics of ecological functions of forests under the influence of natural and anthropogenic factors / E. F. Vedrova, L. V. Mukhortova, L. V. Krivobokov // Collection of scientific papers of the State Nikitsky Botanical Garden. - 2018. - V. 147. - P. 28-31. 3. Gulin, K. A. Problems of motivating forest tenants to use effective reforestation methods in Russia / K. A. Gulin, S. V. Dianov, M. B. Antonov // Economic and social changes: facts, trends, forecast. - 2019. - Vol. 12, No. 1. - P. 108-123.

4. Kelepova, M. E. Forests as an object of use and protection: problems and solutions / M. E. Kelepova // Bulletin of the Council of Young Scientists and Specialists of the Chelyabinsk Region. - 2022. - Vol. 2, No. 2 (37). - P. 46-50.

5. Morkovina, S. S. Innovative technologies in regional forestry: economic aspect / S. S. Morkovina, E. A. Panyavina, A. N. Tseplyaev // Bulletin of the Academy of Knowledge. – 2020. – No. 41(6). – P. 206-215.

6. Panyavina, E. A. Financing of regional projects in the field of forest conservation: status, prospects / E. A. Panyavina // Forest ecosystems as a global resource of the biosphere: challenges, threats, solutions in the context of climate change: Proceedings of the International Forestry Forum, Voronezh, September 29-30, 2022 / Responsible. editor N.V. Yakovenko. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2022. – P. 296-303

7. Polyakova, M. N. State and legal mechanism for the implementation of sanitary safety measures in forests: problems and prospects / M. N. Polyakova // Law and state: theory and practice. – 2024. – No. 7(235). – P. 149-150. – DOI 10.47643/1815-1337_2024_7_149.

8. Fomenko, S. S. Problematic issues of implementation of the federal project "Forest Conservation" of the national project "Ecology" / S. S. Fomenko, M. O. Otrishko // Key trends in the

development of public finances in the new economic reality: Materials of the international scientific and practical online conference, Rostov-on-Don, May 12, 2022. - Rostov-on-Don: Rostov State University of Economics "RINH", 2022. - P. 148-151.

9. Official website of the Federal State Statistics Service. URL: https://rosstat.gov.ru/ (date of access 09/08/2025)

10. Official website of the Federal Forestry Agency. URL: https://rosleshoz.gov.ru/ (date of access 10.09.2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_276-283
УДК 349.222.2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ТРУДОВОГО ДОГОВОРА В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ: ПРОБЛЕМЫ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Н.В. Минина
к.ю.н., доцент, доцент кафедры менеджмента и экономики предпринимательства,

М.В. Пыльцина

к.и.н., доцент, доцент кафедры менеджмента и экономики предпринимательства,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация.
В статье анализируется порядок заключения трудового договора и рассматриваются особенности трудоустройства работников лесного хозяйства. Исследуются проблемы, связанные с трудоустройством различных категорий работников, оценкой квалификации и деловых качеств, документов работника, а также вопросы установления испытательного срока и его применения. Сформулированы предложения по усовершенствованию действующего законодательства, составлены рекомендации для работодателя по заключению трудового договора с работниками лесного хозяйства.

Ключевые слова: лесное хозяйство, трудовой договор, квалификация работника, деловые качества работника, испытание при приеме на работу.

FORESTRY EMPLOYMENT CONTRACT CONCLUSION: REGULATORY ISSUES

N.V. Minina
Candidate of Law, Associate Professor, Department of Management and Entrepreneurship Economics,

M.V. Pyltsina
Candidate of History, Associate Professor, Department of Management and Entrepreneurship Economics,

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The article analyzes the procedure for concluding an employment contract and considers the peculiarities of employment of forestry workers. Problems related to the employment of various categories of employees, assessment of qualifications and business qualities, employee documents, as well as issues of establishing a probationary period and its application are investigated. Proposals were formulated to improve the current legislation, recommendations were drawn up for the employer to conclude an employment contract with forestry workers.
Keywords: forestry, labor contract, employee qualification, employee business qualities, employment test.

© Минина Н. В., Пыльцина М. В., 2025

На сегодняшний день процедура трудоустройства претерпела некоторые изменения ввиду текущих обстоятельств нашей жизни. Трудовое право наиболее чувствительно к переменам, происходящим в обществе, поэтому именно оно в первую очередь реагирует на них и подстраивается под текущую ситуацию. Изменения механизма заключения трудового договора нашли свое отражение и в правоприменительной практике лесного хозяйства России.

Первым условием заключения трудового договора законодатель позиционирует возраст работника (ст. 63 ТК РФ), так как граждане России считаются трудоспособными с 16 лет, но существуют исключения, где принимать на работу разрешается даже с младенчества.

Начальный возраст заключения трудового договора – это важное условие, которое необходимо соблюдать. Что же касается определения максимального возраста для приема на работу, то здесь закон не дает нам точного ответа, так как на практике могут встречаться разные случаи.

Гарантии заключения трудового договора закрепляются ст. 64 ТК РФ, но при этом работодатель вправе самостоятельно под свою ответственность принимать кадровые решения, и это признается его правом, а не обязанностью.

Получается, что действующее законодательство ориентируется на примерный перечень причин для отказа в приеме на работу, поэтому факт дискриминации при заключении трудового договора определяется судом в каждом конкретном случае.

В трудовом праве традиционно выделяются уязвимые группы, и это составляет большую проблему правоприменительной практики.

Сюда относятся возрастные группы лиц, лица с особенностями здоровья и социального положения, а именно:

1) дети, которые могут трудоустраиваться фактически с любого возраста и до совершеннолетия, в том числе, на сезонные работы в лесном хозяйстве.

На наш взгляд, здесь существует значительное количество спорных вопросов. Например, в Европе законодатель определил конкретные сферы деятельности для несовершеннолетних, у нас они установлены только для малолетних граждан. Для детей с 14 до 16 лет существует только запрет определенных видов работ.

Цуркан Н.А. отмечает, что еще одной проблемой здесь является получение разрешения органа опеки и попечительства, так как ТК РФ, к сожалению, прямо не указывает, что оно необходимо в каждом случае [8].

В данной связи следует положительно оценивать опыт зарубежных стран, потому что в Европе разрешение на трудоустройство выдается для работы на конкретного работодателя;

2) молодежь или молодые специалисты без опыта работы.

После распада СССР и разрушения плановой экономики возникла проблема трудоустройства лиц, только что окончивших учебные заведения и не получивших направлений на работу. Несмотря на то, что сейчас некоторые организации целенаправленно привлекают молодежь и предоставляют ей определенные льготы, проблема остается нерешенной и довольно острой, так как выпускник, не имеющий опыта работы, не может его приобрести, так как его просто-напросто не берут на эту самую работу без опыта.

В качестве положительного примера работы с молодыми специалистами в лесной отрасли приведем примеры. В Татарстане молодым специалистам установлена единовременная денежная выплата, в Башкортостане предоставляется древесина на постройку жилья, в Чувашии – земельный участок в безвозмездное пользование [4];

3) женщины детородного возраста и беременные женщины.

Работодатели иногда прямо указывают в качестве причины отказа в приеме на работу беременность, что само по себе не допустимо, но на практике встречается [1]. Женщины, которые потенциально могут иметь детей, также защищены слабо. Например, Комитет по ликвидации дискриминации в отношении женщин указал, что при отсутствии вредного влияния работы на репродуктивное здоровье женщины, отказ в приеме на работу является сохранением вредных социальных стереотипов, в том числе, в законодательстве (Сообщение 60/2-13: Управление Верховного комиссара по правам человека ООН).

Сейчас действует новая Национальная стратегия действий в интересах женщин на 2023 – 2030 годы, отличная от предыдущей в позитивном ключе. Тем не менее, проблем в этой сфере остается много, и их еще предстоит решать;

4) инвалиды, для которых возможность трудоустройства также ограничена.

В соответствии с Определением ВС РФ от 30.09.2019 г. № 33-КГ19-6, если инвалид направлен органом службы занятости на квотируемое рабочее место, то принять его на работу – это обязанность работодателя, следовательно, необоснованный отказ в приеме не допускается.

На сегодняшний день гораздо большей проблемой является отсутствие или нехватка рабочих мест для инвалидов, поэтому их трудоустройство сильно затруднено или нередко осуществляется в обход закона;

5) лица пожилого возраста (предпенсионного возраста, пенсионеры и др.).

Сейчас пенсионный возраст в России повышен на 5 лет – 60 лет для женщин и 65 лет для мужчин.

Для лиц данной группы ориентиром является Рекомендация № 162 МОТ, положения которой уже частично реализованы законодателем. Например, освобождение работника на 2 рабочих дня для прохождения диспансеризации (ст. 185.1 ТК РФ). Тем не менее, для лиц данной группы требуется ввести более дифференцированный подход.

В соответствии с Отраслевым соглашением по лесному хозяйству Российской Федерации на 2025 – 2027 годы работникам лесного хозяйства предоставлены дополнительные социальные гарантии, в том числе при приеме на работу.

При оформлении трудового договора каждый работник обязан представить документы, перечень которых установлен ст. 65 ТК РФ. Данный перечень является исчерпывающим, и работник вправе предоставить дополнительно другие документы, но работодатель не имеет права требовать ничего, кроме того, что предусмотрено законом.

Безусловно, все указанные документы очень важны, но мы остановимся на одном, потому что документооборот в трудовом праве был реформирован за счет внесения в ТК РФ ст. 66.1. Речь идет о введении электронных трудовых книжек.

Митрахович А. справедливо полагает, что этот документ признается порой единственным свидетельством об опыте и стаже по профессии и его утрата может быть невосполнимой [2].

Исходя из этого, полагаем, что сохранение двойного документооборота является наиболее удачным вариантом решения проблемы, что поможет избежать возможной потери ценной информации. Работнику, у которого нет трудовой книжки, оформляют не дубликат, а новую книжку на основании его письменного заявления. В нее можно внести только сведения о текущей основной работе и работе по совместительству, остальные данные не подлежат восстановлению.

В 1992 г. в нашей стране была окончательно введена письменная форма трудового договора в 2 экземплярах для работника и работодателя, так как при возникновении спора именно такая форма способствует его скорому и качественному разрешению. Когда потенциальный работник уже допущен к работе, договор должен быть оформлен в течение 3 дней.

Оформление письменного договора – это обязанность работодателя, поэтому в случае нарушений закона работник не должен пострадать от ненадлежащего поведения работодателя. Если договор не был оформлен, а работник уже приступил к работе, то договор считается заключенным [3].

В 2013 г. в ТК РФ была включена ст. 67.1, и в связи с этим ВС РФ в Постановлении Пленума от 17.03.2004 г. № 2 (в ред. от 24.11.2015 г.) отметил, что, если гражданин был фактически допущен к работе не уполномоченным лицом, работодатель обязан оплатить выполненную работу.

В данной связи Е.Л. Фарафонтова полагает, что ст. 67.1 ТК РФ изначально предусматривает презумпцию недобросовестности действий работодателя, что противоречит ст. 67 ТК РФ [6].

Представляется, что не стоит оценивать это положение столь негативно, оно необходимо для разрешения большого количества споров, именно поэтому с 01.01.2015 г. была введена административная ответственность за уклонение от оформления или неправильное оформление трудового договора (ч. 3 ст. 5.27 КоАП РФ).

В лесном хозяйстве используется оценка персонала на основании локальных актов работодателя (например, положения об оценке персонала, если оно было принято). В противном случае эта процедура противоречит действующему законодательству.

Подобный акт может включать в себя:

- общие положения;
- критерии оценки персонала, виды оценочного листа;
- использование результатов оценки.

Для того чтобы произвести такую оценку необходимо иметь специальные оценочные листы и перечни знаний, умений и навыков по трудовой функции, а также деловых качеств претендента.

Оценка до приема на работу может быть разной. Чаще всего это собеседование, так можно выяснить уровень знаний работника, уровень умений и навыков в форме пробных работ, представление о будущей работе, человеческие качества и уровень здоровья работника. Оценка знаний, умений, навыков может проводиться по специально установленной шкале.

Работодатель самостоятельно оценивает способности и готовность нового работника выполнять трудовую функцию, его деловые качества, а это всегда в определенной степени лишено объективного начала.

Думается, чтобы избежать злоупотреблений со стороны работодателей, локальным актом необходимо также закреплять оценочные критерии и до подписания трудового договора следует ознакомить работника с этими критериями, а также с иными локальными актами, распорядком работы, техникой безопасности и т.п.

Трофимова Г.А. правильно обращает свое внимание на то, что назначение испытательного срока для претендента фактически означает, что работодатель желает проверить уровень профессионализма работника самостоятельно [5].

Получается, что документы об образовании и опыте работы ставятся работодателем под сомнение, что не имеет для него оправданий. К тому же работодатель часто поручает проверку квалификации работника лицам, которые могут не иметь необходимых познаний в определенной области – сотруднику отдела кадров.

Исходя из этого, здесь как бы уравниваются заключения государственной комиссии учебного заведения и руководителя организации, что, на наш взгляд, неприемлемо и не может демонстрировать объективность, беспристрастность и справедливость оценки. Еще одним отрицательным моментом является то, что на результат оценки может повлиять субъективный фактор, например, если отношения в коллективе или с руководителем так и не сложились.

Понятия «квалификация» и «деловые качества работника» могут характеризоваться интеллектуальными, физическими или нравственными характеристиками. И, например, наличие взысканий в предшествующей трудовой деятельности может указывать на личное отношение работника к выполняемой работе и может быть никак не связано с его квалификацией и профессионализмом.

Исключение составляет механизм конкурсного отбора, когда оценка квалификации производится в процессе этого отбора на основании предоставленных сведений.

Действительно, собрать и проверить документы, перечень которых закреплен ст. 65 ТК РФ, установив подлинность квалификации несложно, но совсем иначе обстоит дело с проверкой деловых качеств. Для этого нужны собеседования и кастинги. Однако ТК РФ подобные процедуры не предусмотрены, поэтому законность такой проверки деловых качеств вызывает сомнения.

Следует отметить, что с 01.07.2016 г. в ст. 195.1 ТК РФ были внесены изменения, касающиеся профессиональных стандартов. Правительство установило поэтапное введение профстандартов в действие для бюджетных, государственных или муниципальных структур и др.

В этой сфере много дискуссионных вопросов. Например, Общероссийский профсоюз образования разъяснил, что вводимые правила противоречат ТК РФ, так как по действующей редакции ст. 195.1 ТК РФ профстандарт – это характеристика квалификации, необходимой работнику, а квалификация работника – это уровень знаний, умений, навыков и опыта.

Получается, что квалификация не является составляющей профстандарта, поэтому сейчас пока еще отсутствуют правовые основания для его применения при определении работодателем должностных обязанностей работников при приеме на работу.

На сегодняшний день наличие профстандартов не является решением проблемы квалификации кадров, а большой проблемой, напрямую не связанной с испытанием при приеме на работу, так как они должны взаимно исключать друг друга.

В лесном хозяйстве в настоящее время действуют 17 профессиональных стандартов (код ПС – 14 Лесное хозяйство, охота), они определяют требования к подавляющему большинству должностей и являются обязательными к применению.

Механизм аттестации является внутренним инструментом работодателя и позволяет учитывать и оценку квалификации, и профессиональный стандарт. Они не взаимозаменяемы, а только дополняют друг друга.

Действительно, оценка квалификации является добровольной, а вот аттестация обязательна для определенных категорий работников, и ее неудачное прохождение предоставляет право работодателю расторгнуть трудовой договор с этим работником.

Поэтому результат прохождения оценки является субсидиарным средством подтвердить квалификацию и, возможно, отменить испытание. Или же работник будет планировать профессиональную карьеру, а работодатель сможет организовывать обучение работников или включить их в кадровый резерв.

Полагаем, что оценка подходит только для тех, кто, либо не имеет соответствующего профессионального образования, но имеет опыт работы, соответствующие знания, умения и навыки, полученные им за годы работы, либо имеет образование, но не имеет опыта (выпускник, молодой специалист, переквалифицировавшийся работник и т.д.). Оценка позволит такому человеку более уверенно чувствовать себя на рынке труда и повысить свою конкурентоспособность.

Если оценка проходит с применением испытательного срока, то она позволит работодателю объяснить отрицательный результат испытания или подтвердить положительный.

Как мы уже писали выше, ст. 65 ТК РФ не допускает толковать перечень документов расширительно. Конечно, можно дополнить эту статью пунктом:

«- свидетельство о квалификации».

Но в этом случае решения государственных экзаменационных комиссий образовательных учреждений снова ставятся под сомнение. Это дискредитирует их, так как все образовательные организации в сфере среднего профессионального и высшего образования в обязательном порядке проходят процедуру лицензирования и государственной аккредитации.

Поэтому И.А. Хронова верно отмечает, если буквально трактовать положения действующего ТК РФ, то полную оценку деловых качеств и уровня квалификации можно провести только после истечения испытательного срока [7].

Следует сказать, что раньше была распространена практика, когда условие об испытании указывалось в приказе о приеме на работу, но не в трудовом договоре. Полагаем, что в настоящее время этого явно недостаточно, так как приказ или распоряжение не является основанием возникновения трудовых отношений, ТК РФ однозначно признает им договор.

Приказ может оформлять прием на работу, но в его основе будет лежать именно трудовой договор.

Следует помнить, что испытание признается законным, если условие о нем включено в договор, и стороны достигли согласия по этому условию. Стороны также определяют продолжительность испытательного срока, который по ст. 70 ТК РФ не может быть больше трех месяцев.

Испытательный срок может быть уменьшен, если работодатель уже убедился в квалификации работника и доволен условиями прохождения испытания в короткие сроки. При этом продлить срок испытания нельзя, потому что это будет ухудшать положение работника и противоречить ТК РФ в целом.

Например, Мосгорсуд рассмотрел дело, где испытательный срок составил шесть месяцев вместо трех установленных законом, в результате увольнение было признано незаконным (Кассационное определение Московского городского суда от 17.06.2016 г. № 4г-6039/2016). Сотрудник был директором по развитию бизнеса, и первая судебная инстанция решила, что более длительный срок испытания закреплен в договоре обоснованно, но ТК РФ предусматривает такой срок не для всех руководителей. В связи с этим устанавливать испытание продолжительностью более трех месяцев было неправомерным.

Необходимо отметить, что в лесном хозяйстве существует внушительный перечень сезонных работ на срок до шести месяцев, и в данном случае испытание при приеме на работу не может составлять более двух недель.

Срок испытания, как правило, прекращается с момента:

- его окончания;
- указанного в уведомлении работодателя, если прохождение испытания признано неудовлетворительным и трудовой договор должен быть расторгнут.

Если работодатель считает результат испытания отрицательным, то работник может защитить себя следующими способами:

- изложить письменно свое мнение в акте или заключении в момент ознакомления с документами при свидетелях;
- указать работодателю или суду на факт отсутствия дисциплинарных взысканий и нареканий;
- подтвердить факт выплаты премии расчетным листком по заработной плате;
- продемонстрировать характеристикой, данными о награждениях, почетными грамотами и др. хорошую репутацию на прошлом месте работы;
- составить отчет о проделанной работе в течение испытательного срока и направить его работодателю, а второй экземпляр с отметкой о получении оставить себе.

Суды должны трактовать обстоятельства в пользу работника, а обязанность доказывать законное основание увольнения лежит только на работодателе.

Результаты испытания может оценивать только работодатель, который в период всего срока должен исследовать деловые и профессиональные качества работника. Работодатель может подтвердить свою позицию докладными записками, заключениями, приказами и другими документами.

По существу, отрицательный результат испытания является невыполнением условия трудового договора и влечет за собой его расторжение. Состояние правоотношения во время испытательного срока следует рассматривать как переходное.

Самым сложным случаем является применение ст. 71 и ст. 81 ТК РФ одновременно, так как это процедура, производство которой приводит к завершению трудового отношения – увольнению работника.

Анализ судебной практики показывает, что существуют несколько категорий споров, встречающихся часто:

1) споры относительно того, является ли установления испытания при приеме на работу законным;

2) споры об определении круга должностных обязанностей работника, принятого на работу с испытанием;

3) споры о соблюдении порядка и срока предупреждения об увольнении.

Таким образом, заключение трудового договора с работниками лесного хозяйства проводится в соответствии с общими правилами, установленными ТК РФ, но имеет свои особенности.

Одна из них заключается в том, что профстандарты задают иные параметры, чем квалификация, и дополняют друг друга, поэтому целью испытания является определение готовности работника выполнять определенную работу.

При оформлении трудового договора с работником лесного хозяйства и установлении для него испытания необходимо иметь в виду, что:

1) допустима только письменная форма, причем со всеми документами работника надо ознакомить под расписку;

2) срок испытания должен не может превышать максимального срока, установленного законом.

Работодатель в лесном хозяйстве должен строго соблюдать процессуальный порядок:

- определять даты начала и окончания испытательного срока конкретными датами, которые, например, если указано «по» такое-то число, то эта дата входит в срок, если указано «до», то это число не включаются в срок испытания, если указано «с» конкретной даты, то срок прекращается на день раньше;

- фиксировать в договоре конкретный промежуток времени в неделях или месяцах, при этом срок может быть сокращен, но не продлен;

- испытательный срок не может быть произвольно установлен работодателем, точнее, он может быть уменьшен, но не может быть продлен;

- приказ о приеме на работу никогда не заменяет собой трудовой договор, а только может уточнить его, так как закон не предусматривает возможность установления испытательного срока одним приказом работодателя;

- устное уведомление об окончании испытательного срока возможно только, если результат испытания положительный, в противном случае уведомление об отрицательном результате испытания может быть только письменным.

Список литературы

1. Кузина, М. Анализ споров по отказам в приеме на работу беременным / М. Кузина // Трудовое право. – 2020. – № 8. – С. 65 – 76.

2. Митрахович, А. Электронные трудовые книжки и ПФР – анализ первых споров по ситуации / А. Митрахович // Трудовое право. – 2020. – № 12. – С. 5 – 11.

3. Орловский, Ю.П., Нуртдинова, А.Ф., Чиканова, Л.А. Настольная книга кадровика: юридические аспекты / отв. ред. Ю.П. Орловский. – 3-е изд. – М.: КОНТРАКТ, 2022. – 372 с.

4. Рослесхоз: совместные усилия вузов и властей привлекут в лесную отрасль молодых специалистов // Рослесхоз: официальный сайт. – Режим доступа: https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-sovmestnye-usiliya-vuzov-i-vlastey-privlekut-v-lesnuyu-otrasl-molodykh-spetsialistov-11060/?ysclid=mfauwsaebt869492162 (дата обращения: 08.09.2025 г.).

5. Трофимова, Г.А. Применение некачественных понятий при заключении (продлении) трудового договора / Г.А. Трофимова // Адвокат. – 2015. – № 9. – С. 46 – 52.

6. Фарафонтова, Е.Л. Проблемы правового регулирования неформальных отношений при заключении трудового договора / Е.Л. Фарафонтова // Российский юридический журнал. – 2018. – № 1. – С. 143 – 147.

7. Хронова, И.А. Проблемы применения профессиональных стандартов в Российской Федерации / И.А. Хронова // Актуальные проблемы российского права. – 2020. – № 11. – С. 190 – 197.

8. Цуркан, Н.А. Проблемы правового регулирования труда несовершеннолетних работников в России / Н.А. Цуркан // Трудовое право в России и за рубежом. – 2019. – № 3. – С. 50 – 53.

References

1. Kuzina, M. Analysis of disputes over refusals to hire pregnant women / M. Kuzina // Labor law. - 2020. - No. 8. - P. 65 - 76.

2. Mitrakhovich, A. Electronic work books and the Pension Fund - analysis of the first disputes on the situation / A. Mitrakhovich // Labor law. - 2020. - No. 12. - P. 5 - 11.

3. Orlovsky, Yu.P., Nurtdinova, A.F., Chikanova, L.A. Handbook of the personnel officer: legal aspects / ed. Yu.P. Orlovsky. - 3rd ed. - M .: CONTRACT, 2022. - 372 p.

4. Rosleskhoz: joint efforts of universities and authorities will attract young specialists to the forestry industry // Rosleskhoz: official website. - Access mode: https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-sovmestnye-usiliya-vuzov-i-vlastey-privlekut-v-lesnuyu-otrasl-molodykh-spetsialistov-11060/?ysclid=mfauwsaebt869492162 (date of access: 09/08/2025).

5. Trofimova, G.A. Application of low-quality concepts when concluding (extending) an employment contract / G.A. Trofimova // Advocate. - 2015. - No. 9. - P. 46 - 52.

6. Farafontova, E.L. Problems of legal regulation of informal relations when concluding an employment contract / E.L. Farafontova // Russian Law Journal. - 2018. - No. 1. - P. 143 - 147.

7. Khronova, I.A. Problems of applying professional standards in the Russian Federation / I.A. Khronova // Actual problems of Russian law. - 2020. - No. 11. - P. 190 - 197.

8. Tsurkan, N.A. Problems of legal regulation of labor of minors in Russia / N.A. Tsurkan // Labor law in Russia and abroad. - 2019. - No. 3. - P. 50 - 53.

DOI: 10.58168/Forestry2025_284-290
УДК 58.018

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КЛЮКВЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *(VACCINIUM OXYCOCCOS)* БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ ЗАКАЗНИКА «ОЛЬМАНСКИЕ БОЛОТА» СТОЛИНСКОГО РАЙОНА

С.М. Мижуй
к. с.-х. наук, доцент кафедры «Биологии и химии»,
УО «Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина», г. Мозырь, Республика Беларусь

Ю.М. Гончарик
к. с.-х. наук, доцент кафедры «Технологии металлов» «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь

А.И. Буян
учитель биологии, средняя школа №15 г. Мозыря имени генерала Бородунова Е. С., г. Мозырь, Республика Беларусь

Аннотация.
В статье приведены морфологические и биохимические параметры клюквы обыкновенной в березовом лесу. Определены размеры листьев, их средняя площадь и биохимический состав, включая хлорофиллы и каротиноиды. Зафиксирована высокая изменчивость массы надземной части растений и урожайность ягод, которая в среднем составляет 477,7 г/м². Полученные данные важны для оценки продуктивности и экологической адаптации растения.

Ключевые слова: морфологические параметры, биохимические параметры, клюква обыкновенная, фотосинтетические пигменты, урожайность.

BIOMETRIC INDICATORS OF CRANBERRY (VACCINIUM OXYCOCCOS) OF BIRCH FORESTS OF THE RESERVE "OLMANSKY MARSHES" OF STOLINSKY DISTRICT

S.M. Mizhui
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Biology and Chemistry Education, I.P. Shamyakin Mozyr State Pedagogical University, Mozyr, Republic of Belarus
Y.M. Goncharik
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Metal Technology, Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus
A.I. Buyan
biology teacher, secondary school №. 15 in Mozyr named after General Borodunov E. S., Mozyr, Republic of Belarus

Abstract. The article presents morphological and biochemical parameters of Vaccinium vitis-idaea in a birch forest. Leaf sizes, their average surface area, and biochemical composition, including chlorophylls and carotenoids, are determined. A high variability in the mass of the aboveground parts of the plants and a berry yield averaging 477.7 g/m² were observed. The data obtained are important for assessing the productivity and ecological adaptation of the plant.

© Мижуй С. М., Гончарик Ю. М., Буян А. И., 2025

Keywords: morphological parameters, biochemical parameters, cranberry, photosynthetic pigments, yield**.**

Клюква обыкновенная (Vaccinium oxycoccos L.) является ценным пищевым, лекарственным и экологически значимым видом, играющим ключевую роль в функционировании болотных и заболоченных лесных экосистем. Её изучение представляет интерес как с точки зрения оценки ресурсного потенциала, так и в контексте сохранения биоразнообразия. Особое внимание заслуживают популяции клюквы, произрастающие в уникальных природных условиях заказника «Ольманские болота» (Столинский район, Беларусь), который имеет статус Рамсарского угодья международного значения [4].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью мониторинга состояния растительных ресурсов охраняемых территорий в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия [1, 5]. Биометрическая оценка клюквы позволяет выявить особенности её роста и развития в специфических условиях берёзовых лесов, что важно для понимания механизмов адаптации вида к различным экотопам [3]. Кроме того, подобные данные могут быть использованы для разработки мер по устойчивому использованию и восстановлению ягодников в регионе.

В связи со всем вышеизложенным, нами была поставлена **цель работы**: определить морфологические показатели, биологическую продуктивность, а также пигментный состав листьев клюквы обыкновенной на территории березовых лесов заказника «Ольманские болота» Столинского района Брестской области.

Исследования проводились в летне-осенний период 2024 года на территории заказника «Ольманские болота» вдоль экологической тропы.

Отбор растений клюквы обыкновенной (*Vaccinium oxycoccus)* был выполнен в трехкратной повторности.

Координаты отбора проб:

1) 51.792296 с. ш, 27.097052 в. д.

2) 51.792109 с. ш., 27.097613 в. д.

3) 51.791796 с. ш, 27.097823 в. д.

В каждой точке отбиралось по 10 растений клюквы обыкновенной вместе с ягодами.

У каждого из отобранных 10 образцов были проведены следующие измерения:

1. Масса сухого вещества;
2. Подсчитано число листьев на одном растении;
3. Определены биометрические показатели листа (длина, ширина, площадь);

Площадь листьев определяли методом планиметрирования. Расчетный коэффициент в исследованиях составил 0,74.

4. Содержание фотосинтетических пигментов (спектрофотометрическая методика определения хлорофиллов a, b и каротиноидов по книге А. И. Ермакова «Методы биохимического исследования растений») [2].

Собранные ягоды подверглись следующим измерениям:

1. Подсчитано количество ягод на 10 растениях раздельно по зонам проведения исследования;
2. Определена масса сырого и сухого вещества;
3. Определено содержание витамина С (методом йодометрии).

Территория заказника «Ольманские болота» расположена в междуречье Горыни и Ствиги – правых притоков Припяти, в пределах Лунинецкой низины, сформированной в позднепоозерское время. Заказник расположен в пределах Ольмано-Тонежского района подзолистых песчаных и торфяно-болотных почв верхового типа Юго-Западного почвенно-климатического округа. Основными типами почв являются болотные и дерново-подзолистые.

На территории заказника «Ольманские болота» доминируют лесные экосистемы, которые занимают больше половины (около 55%) территории заказника, при этом лесопокрытые земли занимают 99% лесных экосистем. Доля открытых болот (болотные экосистемы) на территории заказника «Ольманские болота» составляет около 43,5%. Здесь

представлены все основные типы открытых болот: низинные (около 7,7% болотных экосистем), переходные (86,5%) и верховые (5,8%).

Берёзовая лесная формация заказника представляет собой типичный вторичный лес с доминированием *Betula pendula* (берёзы повислой) в составе древостоя. Подлесок имеет низкую сомкнутость (0,1-0,2) и представлен следующими видами: *Cytisus ruthenicus* (ракитник русский), *Sphagnum* (мох сфагнум), *Oxycoccus vaccinium* (клюква обыкновенная), *Carex acutiformis* (осока болотная).

При изучении параметров листовой поверхности клюквы обыкновенной на территории березового леса количество листьев на 1 растении в среднем составило 34,4 шт./растение (таблица 1) при коэффициенте вариации 38,0%, что говорит о большой изменчивости данного признака (таблица 2). Длина и ширина листа колебалась в переделах от 9,4 до 9,8 мм (длина) и 3,0 – 3,4 мм (ширина). Изменчивость данных признаков была значительная (по М.Л. Дворецкому, 1971). Однако ошибка опыта при этом составила 0,7 и 1,0% для длины и ширины соответственно, что говорит о высокой точности измерений. Площадь листовой поверхности клюквы обыкновенной на территории березового леса составила в среднем 336,56 $см^2/м^2$. Площадь 1 листовой пластинки отмечена на уровне 23,62 $мм^2$ при погрешности измерений на уровне 1,5% (таблица 2).

Таблица 1 – Биометрические показатели листовой пластинки клюквы обыкновенной

Выборка	Количество листьев на 1 растении, шт.	Длина листа, мм	Ширина листа, мм	Площадь листовой пластинки, $мм^2$	Площадь листовой поверхности, $см^2/м^2$
№ 1	34,3	9,8	3,4	25,81	349,58
№ 2	30,5	9,4	3,1	22,29	271,91
№ 3	38,3	9,5	3,0	22,76	388,20
Среднее	34,4	9,6	3,2	23,62	336,56

Наибольшая изменчивость отмечена у площади листовой пластинки – 45,8 % и площади листовой поверхности – 57,7 % (таблица 2). Согласно классификации М.Л. Дворецкого они находились на очень большом уровне.

Таблица 2 – Статистические параметры листовой пластинки клюквы обыкновенной

Показатель	Количество листьев на 1 растении, шт.	Длина листа, мм	Ширина листа, мм	Площадь листовой поверхности, $см^2/м^2$	Площадь листовой пластинки, $мм^2$
Среднее (M)	34,4	9,77	3,29	33,7	24,8
Стандартное отклонение (σ)	13,0	2,22	1,00	19,4	11,4
Доверит.интервал с P=0,95 (±)	4,7	0,14	0,06	7,0	0,7
Стандартная ошибка (m_x)	2,4	0,07	0,03	3,5	0,4
Коэффициент вариации, %	38,0	22,7	30,3	57,7	45,8
Ошибка опыта, %	6,9	0,7	1,0	10,5	1,5

При статистической обработке результатов был отмечен факт увеличения коэффициента вариации при увеличении количества листьев клюквы обыкновенной, подвергшихся анализу.

Погрешность измерений при этом снижалась. Для удобства представим данные в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Сравнительный анализ статистических показателей листовой пластинки клюквы обыкновенной

Число наблюдений, шт.	Коэффициент вариации, %			Ошибка опыта, %		
	Длина листа, мм	Ширина листа, мм	Площадь листовой пластинки, мм^2	Длина листа, мм	Ширина листа, мм	Площадь листовой пластинки, мм^2
30	11,9	15,2	25,5	2,2	2,8	4,7
1039	22,7	30,3	45,8	0,7	1,0	1,5

Так при обработке 30 усредненных значений длины, ширины и площади листовой пластинки коэффициент вариации составил: 11,9% (длина листа); 15,2% (ширина листа) и 25,5% (площадь листовой пластинки). Ошибка опыта при этом составила: 2,2%; 2,8% и 4,7% соответственно. Если же статистической обработке подвергались исходные данные в полном объеме (1039 единиц) без усреднения и разбивки на зоны отбора, то коэффициент вариации составил: 22,7% (длина листа); 30,3% (ширина листа) и 45,8% (площадь листовой пластинки). Ошибка опыта при этом снизилась до уровня: 0,7%; 1,0% и 1,5% соответственно.

Для определения взаимосвязи между шириной и длиной листа клюквы обыкновенной был проведен корреляционно-регрессионный анализ. Анализ взаимосвязи данных признаков показал, что между данными показателями наблюдается прямая линейная корреляционная зависимость средней степени силы, о чем свидетельствует коэффициент корреляции r = 0,605 (рисунок 1).

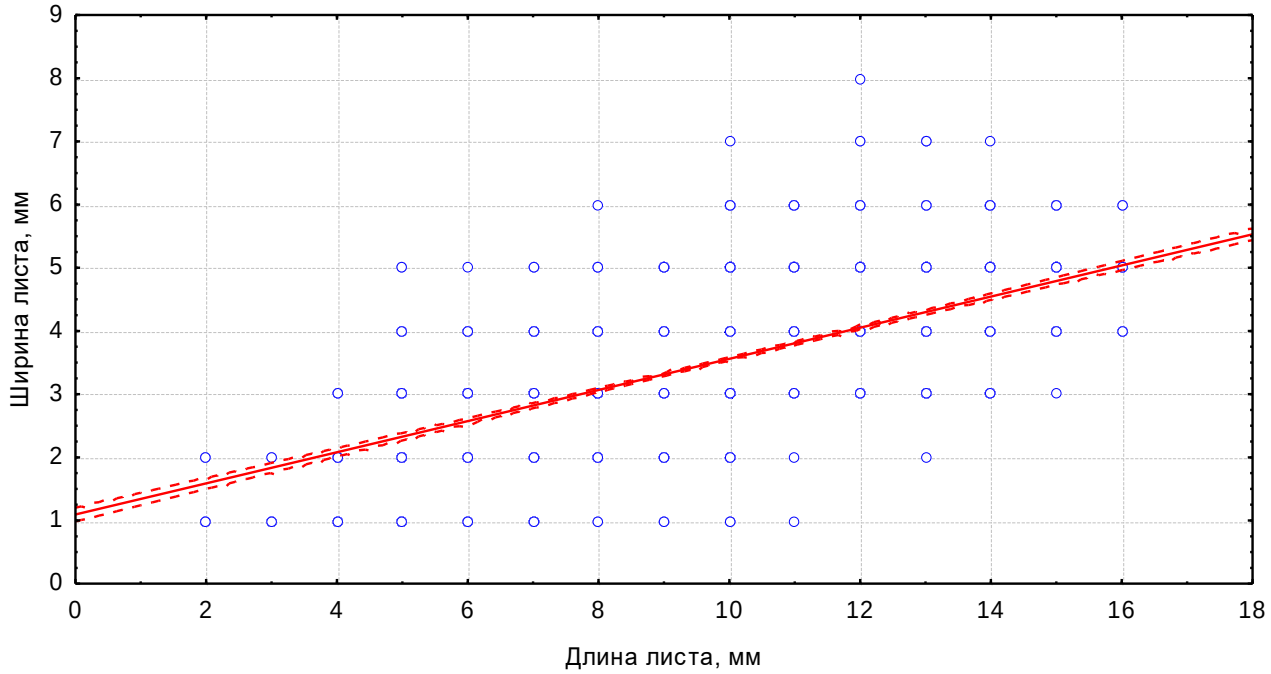


Рисунок 1 – Диаграмма взаимосвязи между шириной и длиной листовой пластинки клюквы обыкновенной

Приведем уравнения регрессии
Уравнение регрессии: y = 1,0943 + 0,2464 x;
где x – длина листа;
y – ширина листа.

Проведенный анализ на содержание фотосинтетических пигментов в листьях клюквы показал следующее. Максимальное содержание хлорофилла *a* (C_a) отмечено в выборке №1 (12,56 мг/л), а минимальное – в выборке № 3 (10,03 мг/л). Наибольшая концентрация хлорофилла *b* (C_b) зафиксирована в выборке № 1 (23,35 мг/л) (таблица 4). Суммарное количество хлорофиллов *a* и *b* составило 26,97 мг/л. Содержание каротиноидов в листьях составило в среднем 3,84 мг/л. Наибольшая концентрация отмечена в выборке №1 (6,50 мг/л), что может говорить о защитных механизмах растений, адаптирующихся к условиям затенения. Берёзовый лес демонстрирует значительный разброс значений, что может быть связано с разной степенью затенения деревьями.

Таблица 4 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях клюквы обыкновенной

Выборка	Содержание пигментов, мг/л			
	C_a	C_b	C_k	C_a+C_b
№ 1	12,56	23,35	6,50	35,91
№ 2	11,76	13,40	2,91	25,16
№ 3	10,03	9,82	2,11	19,85
Среднее	11,45	15,52	3,84	26,97

Линейный рост клюквы обыкновенной зависит от множества факторов, включая условия среды, состав почвы и климатические особенности региона. Высота растений колебалась в среднем от 35 до 42 см, но встречались и очень большие отклонения (100 см в выборке №3) (таблица 5). Это может быть связано с индивидуальными особенностями растения или отличающимися условиями произрастания.

Таблица 5 – Линейный рост растений клюквы обыкновенной, см

Выборка	№ растения										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее
№1	52	32	59	41	41	43	42	42	36	28	42
№2	31	33	33	25	50	40	42	36	32	24	35
№3	32	22	22	56	32	42	44	100	23	16	39

Результаты статистической обработки приведены в таблице 6. Стандартная ошибка (m_x) составила 2,5-2,8 в выборках № 1 и №2. В выборке №3 она была на уровне 7,8. Это было вызвано одним очень выбивающимся по значениям растением (таблица 5). При исключении его из анализа, стандартная ошибка снижается до 4,3. В целом же нами была отмечена большая изменчивость высоты растений клюквы обыкновенной. В одно время в одном месте на небольшом участке присутствовали и невысокий растения (16 см) и растения со значительной высотой 59 – 100 см. Ошибка опыта колебалась в пределах от 6,8 до 20,1%. В среднем по опыту она составила 11,4%.

Таблица 6 – Статистические параметры линейного роста клюквы обыкновенной

Показатель	Выборка			Среднее
	1	2	3	
Среднее (M)	41,6	34,6	38,9	38,4
Стандартное отклонение (σ)	9,0	7,8	24,7	13,8
Доверит.интервал с P=0,95 (±)	5,6	4,9	15,3	8,6
Стандартная ошибка (m_x)	2,8	2,5	7,8	4,4
Коэффициент вариации, %	21,5	22,6	63,6	35,9
Ошибка опыта, %	6,8	7,2	20,1	11,4

Густота стояния растений клюквы обыкновенной – важный показатель, отражающий плотность распределения растений на ограниченной площади. С помощью учетной рамки нами было подсчитано количество растений на 1м^2. На территории березового леса она составила 85,3 растений/м^2.

Вес сухих растений клюквы обыкновенной позволяет оценить степень накопления органических веществ, а также влияние факторов окружающей среды, таких как влажность, состав почвы и уровень освещенности. Результаты определения сухой массы приведены в таблице 7.

Масса сухого вещества надземной части 1 растения колебалась в диапазоне от 0,1 г до 1,2 г. Изменчивость данного признака находилась на очень большом уровне (коэффициент вариации 69,9%). При этом стандартная ошибка (m_x) и ошибка опыта составили 0,1 и 12,8% соответственно.

Таблица 7 – Масса сухого вещества надземной части клюквы обыкновенной, г

Выборка	№ растения										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее
№1	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,1	0,1	0,2	0,3
№2	0,3	0,2	0,3	1,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4
№3	0,2	0,4	0,3	0,5	0,2	0,6	0,9	1,2	0,2	1,1	0,6
Среднее											0,4

Нами была проанализирована влажность и количество ягод клюквы обыкновенной. Масса сырого вещества в среднем составила 5,6 г/растение (таблица 8) при влажности 86,4%. При этом количество ягод на 1 растении отмечено на уровне 0,9 шт./раст. При пересчете на 1 м^2 Данный показатель составил 38,7 шт./м^2. Урожайность (продуктивность) ягод клюквы обыкновенной на территории березового леса составила в среднем 477,7 г/м^2.

Таблица 8 – Влажность и количество ягод клюквы

Масса сырого вещества ягоды, г/растение	Масса сухого вещества ягоды, г/растение	Влажность, %	Количество ягод шт./м^2	Количество ягод, шт./растение
5,6	**0,9**	**86,4**	**38,7**	**0,9**

Проведенный анализ собранных ягод на содержание витамина С методом йодометрии показал, что среднее содержание витамина С составило 0,9 мг/г. Колебание показателя находилось в пределах от 0,8 до 1,1 мг/г.

Подводя итог проведенных исследований, можно сказать следующее. На территории березового леса длина и ширина листовой пластинки клюквы обыкновенной колебалась в переделах от 9,4 до 9,8 мм (длина) и 3,0 – 3,4 мм (ширина). Площадь листовой поверхности составила в среднем 336,56 см^2/м^2. Площадь 1 листовой пластинки отмечена на уровне 23,62 мм^2. Между шириной и длиной листа наблюдается прямая линейная корреляционная зависимость средней степени силы (r = 0,605). Суммарное количество хлорофиллов *a* и *b* составило 26,97 мг/л, а содержание каротиноидов – 3,84 мг/л. Высота растений находилась в диапазоне 35 – 42 см. Масса сухого вещества надземной части 1 растения колебалась в диапазоне от 0,1 г до 1,2 г. При очень большой изменчивости данного признака (коэффициент вариации 69,9%). Урожайность ягод клюквы обыкновенной на территории березового леса составила в среднем 477,7 г/м^2.

Список литературы

1. Елина, Г. А. Основные черты болотной растительности Европейской России / Г. А. Елина. – Ленинград: Наука, 1987. – 288 с.
2. Ермаков, А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков. – Л.: Агропромиздат. – 1987. – 456 с.
3. Кузьмичёв, А. И. Растительность болотных экосистем / А. И. Кузьмичёв, А. В. Галанин, А. Н. Белов. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2018. – 367 с.
4. Рамсарская конвенция о водно-болотных угодьях / 2013. – URL: https://www.ramsar.org (дата обращения: 15.05.2024).
5. Самбук, Ф. В. Ресурсы дикорастущих ягодников и их использование / Ф. В. Самбук. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 214 с.

References

1. Elina, G. A. The main features of the marsh vegetation of European Russia / G. A. Elina. Leningrad: Nauka Publ., 1987. 288 p.
2. Ermakov, A. I. Methods of biochemical research of plants / A. I. Ermakov. – L.: Agropromizdat. – 1987. – 456 p.
3. Kuzmichev, A. I. Vegetation of marsh ecosystems / A. I. Kuzmichev, A.V. Galanin, A. N. Belov. Moscow: Association of Scientific Publications of the KMC, 2018. 367 p.
4. Ramsar Convention on Wetlands / 2013. – URL: https://www.ramsar.org (date of request: 05/15/2024).
5. Sambuk, F. V. Resources of wild berry fields and their use / F. V. Sambuk. – St. Petersburg: Lan, 2015. – 214 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_291-298
УДК 630 181.65

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ РЕАКЦИЯ НА ЗАСУХИ 68-ЛЕТНИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ОБЪЕКТА «СТУПИНСКОЕ ПОЛЕ» (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)

[1]Д.А. Литовченко, [2]С.М. Матвеев, [3]В.В. Молчанов

[1]к.б.н., доцент кафедры «Лесоводства, лесной таксации и лесоустройства», Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
[2]д.б.н., заведующий кафедрой кафедры «Лесоводства, лесной таксации и лесоустройства», *Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия*
[3]аспирант кафедры «Лесоводства, лесной таксации и лесоустройства», *Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия*

Аннотация. Исследования проведены в 68-летних географических культурах сосны обыкновенной, произрастающих в Воронежской области (полигон «Ступинское поле»). У 6-ти климатипов географических культур отобраны образцы для дендроклиматического анализа реакции радиального прироста сосны разного происхождения, произрастающей в однородных условиях на лимитирующий фактор – засухи. Реакция радиального прироста на засухи 1992, 1995, 2010 и 2014 гг. изучена по методике, предложенной Lloret et al (2011): за три года до засухи, в год засухи и в течение трёх лет после засухи. Установлено, что в большинстве случаев засуха наступает не внезапно, индекс сопротивления (за три года до засухи) снижается. Прямой связи между интенсивностью засухи и реакцией климатипов не прослеживается, однако в годы наиболее сильных засух (1992, 2010 гг.) прирост снижен у 5-ти климатипов из 6-ти. Выявлена наиболее сильная негативная реакция на засухи климатипов «Минск» и «Владимир». Климатипы «Воронеж», «Калач» «Курск» и «Белгород» не показали однозначного преимущества с учётом всех трёх индексов.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, географические культуры, реакция на засухи

DIFFERENTIATED RESPONSE TO DROUGHT 68 YEAR OLDS OF GEOGRAPHICAL CULTURES OF SCOTS PINE OF THE OBJECT «STUPINSKOE POLE» (VORONEZH REGION)

[1]D.A. Litovchenko, [2] S.M. Matveev, [3]V.V. Molchanov

[1] *candidate of biological sciences, associate professor of the Department of Forestry, Forest Inventory and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*
[2]*doctor of biological sciences, head of the Department of Forestry, Forest Inventory and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*
[3]*postgraduate student of the Department of Forestry, Forest Inventory and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*

© Литовченко Д. А., Матвеев С. М., Молчанов В. В., 2025

Abstract. The study was conducted on 68-year-old Scots pine crops growing in the Voronezh Region (Stupino Field site). Samples from six climatic crops were collected for dendroclimatic analysis of the response of radial growth in pine trees of different origins, growing under uniform conditions, to a limiting factor-drought. The response of radial growth to droughts in 1992, 1995, 2010, and 2014 was studied using the methodology proposed by Lloret et al. (2011): three years before the drought, during the drought year, and for three years after the drought. It was found that, in most cases, drought does not occur suddenly; the resistance index (three years before the drought) decreases. There is no direct connection between the intensity of drought and the response of climatypes, however, in the years of the most severe droughts (1992, 2010), growth was reduced in 5 of 6 climatypes. The most significant negative response to drought was observed for the "Minsk" and "Vladimir" climatypes. The "Voronezh", "Kalach", "Kursk", and "Belgorod" climatypes showed no clear advantage when all three indices were considered.

Keywords: Scots pine, geographical crops, response to drought

В последние десятилетия из-за глобального потепления засухи стали более частыми, а их интенсивность возросла, что стало серьёзной проблемой для лесных экосистем [4]. Исследования показали, что леса способны адаптироваться к засухе и могут саморегулироваться в пределах соответствующего диапазона адаптации [6]. Однако экстремальные засухи, выходящие за пределы диапазона адаптации, могут повлиять на состояние деревьев и, следовательно, на продуктивность и биоразнообразие лесных экосистем [8].

Для количественной оценки реакции на изменение климата, Lloret et al [5] предложили три показателя: индексы сопротивления (R_t), устойчивости (R_s) и восстановления (R_c) для оценки толерантности деревьев к явлениям засухи. Rt, Rs и Rc разных пород деревьев к засухе также различаются, но все еще существуют разногласия по поводу реакции одних и тех же пород деревьев разного диаметра на засуху: некоторые исследования показали, что деревья больших диаметров обладают низкой способностью к восстановлению, в то время как деревья маленьких диаметров обладают большей приспособленностью к засушливой среде [4].

Каждая природная популяция имеет свой специфический генотипический состав, адаптированный к тем условиям среды, на фоне которых под давлением отбора происходит ее развитие. Любая популяция древесных растений через ширину годичного кольца отражает адаптивные свойства отдельной особи (дендрофенотип), проявляющиеся в характере ее роста, биологической устойчивости, реакции на факторы климата. С одной стороны, изменения климата влияют на биоразнообразие, с другой стороны, именно биоразнообразие лежит в основе механизмов адаптации лесов к этим изменениям, поскольку оно является провайдером всех экосистемных функций.

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в географических культурах сосны обыкновенной на полигоне «Ступинское поле», расположенных на территории Рамонского участкового лесничества Воронежского лесничества, в Воронежской области.

Полигон географических лесных культур сосны создан в 1959 г., под руководством профессора М.М. Вересина, путем ручной посадки 2-летних сеянцев на землях из-под сельскохозяйственного пользования под меч Колесова (без дополнения). Размещение посадочных мест равномерное 0,5×1,5 м, начальная густота сеянцев – 13,3 тыс. шт./га. Блоки географических культур, включающих по 13 рядов длиной 25 м, размещены с юго-запада на северо-восток. До смыкания культур на полигоне проводили в рядах и междурядьях агротехнические уходы, а после смыкания – только удаление сухостойных деревьев.

В апреле 2025 г. нами заложены пробные площади, в шести различных происхождениях: «Белгород», «Курск», «Воронеж», «Калач» (кв. 80, выд. 15), «Минск» (кв. 81, выд. 2), «Владимир» (кв. 80, выд. 18) (рисунок 1).

Размер каждой пробной площади (далее – ПП) – 0,25 га (50 м × 50 м). Исследуемые древостои произрастают на бедных песчаных почвах, в типе лесорастительных условий (ТЛУ) свежая суборь (B_2), тип леса – сосняк травяной (ССРТ). Условный возраст (по кернам древесины) – 56 лет, таксационные характеристики древостоев приведены в таблице 1.

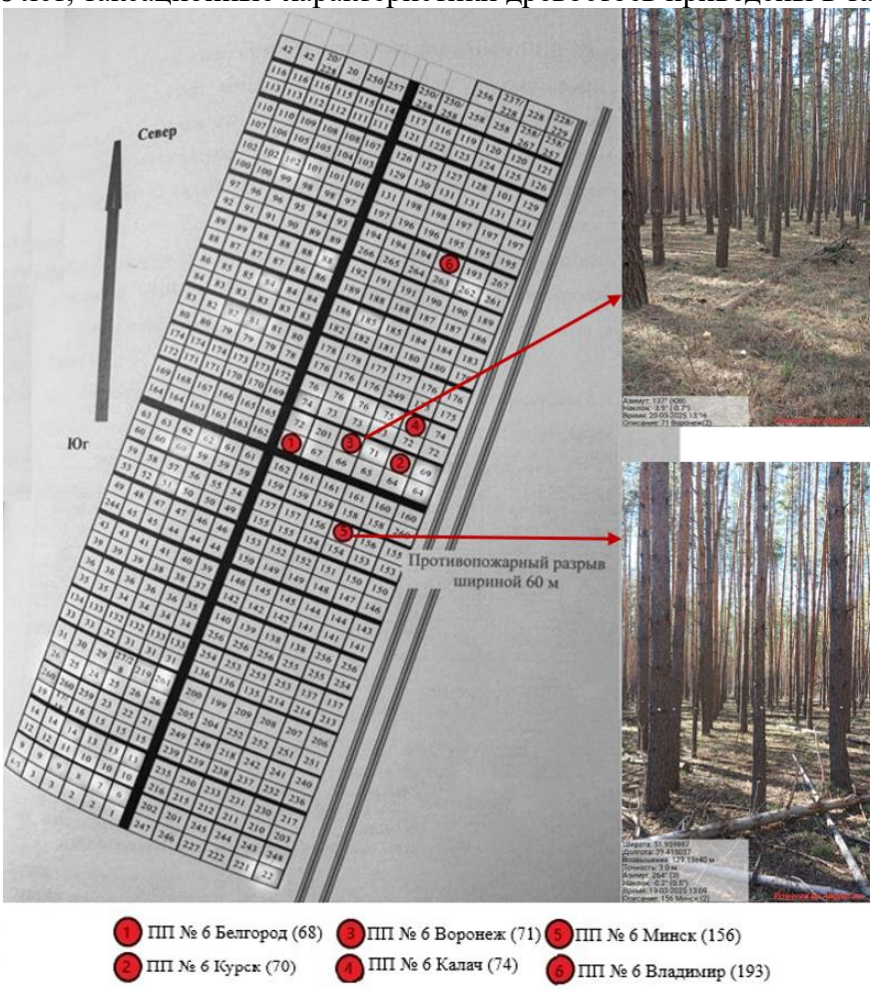


Рисунок 1 – Схема объектов исследования

Таблица 1 – Таксационная характеристика географических культур сосны обыкновенной объекта «Ступинское поле»

Название и номер климатипа	ТЛУ / тип леса	Состав	Возраст / условный возраст, лет	Средние		Полнота	Класс бонитета	Запас, $м^3$
				высота, м	диаметр, см			
«Белгород» № 68	B_2 / ССРТ	10СО	68 / 56	24	26	0,8	I	330
«Владимир» № 193				20	22		II	290
«Воронеж» № 71				22	23		I	300
«Калач» № 74				23	24		I	310
«Курск» № 70				23	24		I	300
«Минск» № 156				21	22		II	290

Для дендрохронологического анализа в каждом из 6 климатипов сосны обыкновенной нами отобрано по 25 кернов с 25 деревьев, что позволило достоверно определить среднюю ширину годичного кольца и статистические характеристики в каждом исследуемом древостое [2]. Керны отбирались на высоте 1 м от уровня земли. С использованием установки LINTAB-6 и пакета программ TSAP-Win [7] проведены измерения ширины годичных колец (ранней,

поздней древесины и общей ширины годичного кольца) на подготовленных кернах сосны обыкновенной. Для удаления возрастного тренда и обеспечения возможности сопоставления погодичной динамики радиального прироста сосны обыкновенной с климатическими параметрами рассчитаны относительные индексы прироста в программе TREND [1] по общепринятой методике [2].

Для оценки реакции прироста сосны обыкновенной исследуемых климатипов на экстремальные климатические условия (засухи) использована методика Lloret et al. [5].

В соответствии с данной методикой рассчитаны индексы сопротивления (R_t), устойчивости (R_s) и восстановления (R_c) для засух 1992, 1995, 2010 и 2014 годов. Сопротивление определяет интенсивность замедления роста деревьев перед засухой: $R_t = \frac{D_r}{preD_r}$, где D_r – это ширина кольца во время засухи, а $preD_r$ – это средний годовой радиальный прирост за три года, предшествовавших засухе. Когда R_t = 1, это указывает на то, что три года перед засухой не ограничивают рост деревьев. R_t > 1 указывает на то, что рост деревьев в годы перед засухой лучше, устойчивость деревьев высокая. R_t < 1 указывает на то, что рост деревьев уменьшается перед засухой.

Устойчивость описывает способность дерева достигать предзасушливого прироста во время засухи. R_s рассчитывается как доля среднего радиального прироста за три года после засухи (postDr) до засухи (preDr) по формуле: $R_s = \frac{postD_r}{preD_r}$. R_s = 1 указывает на то, что засуха не затрагивает деревья и они возвращаются к своему первоначальному уровню роста. R_s > 1 указывает на то, что скорость роста деревьев превышает скорость роста до засухи и что устойчивость деревьев высока. R_s < 1 указывает на то, что деревья не возвращаются к уровню роста до наступления засухи. Чем выше значение, тем выше устойчивость деревьев.

Восстановление – это доля между средним радиальным приростом за три последовательных года после года засухи ($postD_r$) и шириной кольца во время засухи (D_r) и определяет, как дерево может восстановиться после периода засухи. Индекс восстановления рассчитывался по формуле: $R_c = \frac{postD_r}{D_r}$. R_c = 1 означает, что деревья нормально растут после засухи и она не повлияла на их рост.

Все индексы рассчитаны для усредненного ряда относительных индексов для каждого климатипа. Программное обеспечение, используемое для обработки данных – STATISTICA 12.0 [3], Microsoft Office Excel 15.

Результаты исследования

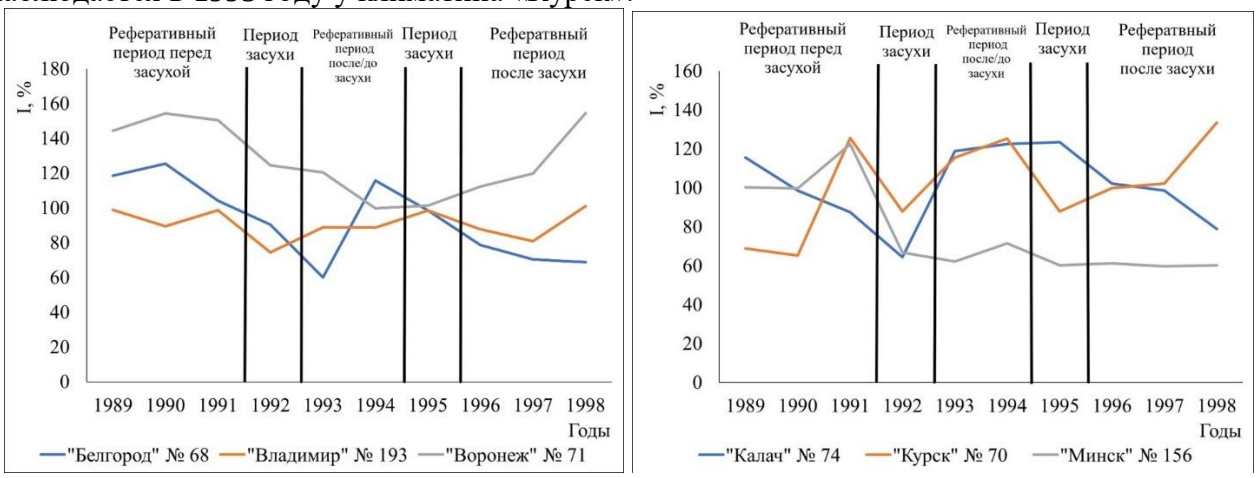
Древостои сосны разного географического происхождения, произрастающие в однородных условиях Воронежской области, имели различные морфологические и таксационные характеристики. Мы рассмотрели их реакции на наиболее сильные и продолжительные засухи, наблюдающиеся в 1992, 1995, 2010 и 2014 годах.

Засуха 1992 года: недостаток осадков и снижение ГТК наблюдались в 1991 (451 мм, 0,96) и 1992 (564 мм, 0,92) годах. Засуха 1995 года: недостаток осадков и снижение ГТК наблюдались в 1995 (670 мм, 0,78) и 1996 (447 мм, 0,98) годах. Засуха 2010 года (самая сильная): недостаток осадков и снижение ГТК наблюдались в 2008 (612 мм, 0,88), 2009 (428 мм, 0,63) и 2010 (682 мм, 0,92) годах. Засуха 2014 года: недостаток осадков и снижение ГТК наблюдались в 2014 (433 мм, 0,67) и 2015 (549 мм, 0,72) годах.

По протоколу Lloret et al. [5]мы рассмотрели реакцию радиального прироста за три года до засухи, в год засухи и в течение трёх лет после засухи. На графиках представлена динамика радиального прироста древостоев изученных климатипов за период 1989-1998 гг., включающий две сильных засухи (1992 и 1995 гг.), три года до первой засухи и три года после второй (рисунок 2), а также за период 2007-2017 гг., включающий две сильных засухи (2010 и 2014 гг.), три года до первой засухи и три года после второй (рисунок 3).

У климатипа «Белгород» наблюдается глубокий минимум после засухи 1992 года в 1993 году. У климатипов «Калач» и «Курск» минимум выявлен в 1992 году (в год засухи). Но

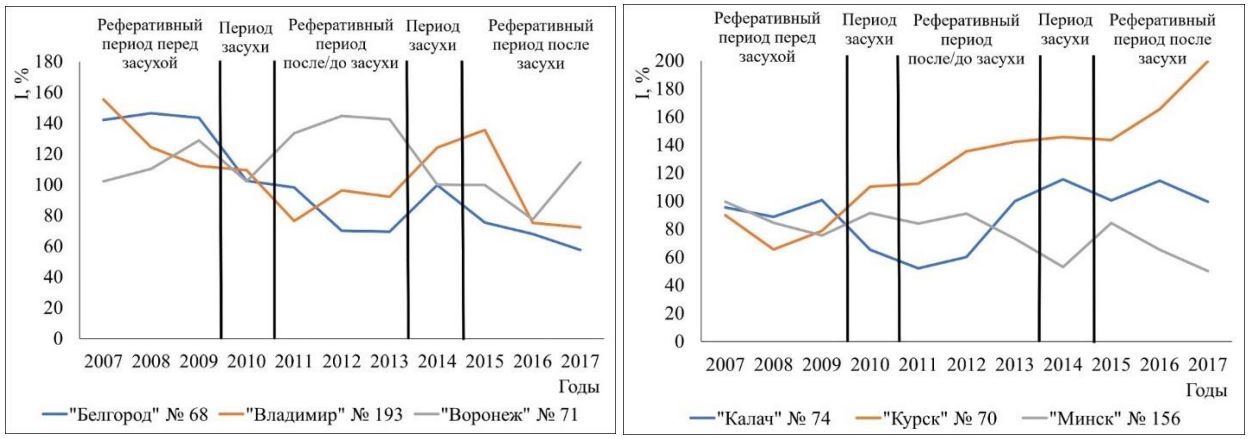
при этом у названных климатипов после засухи прирост вырос. Небольшой спад прироста наблюдается в 1995 году у климатипа «Курск».



а) б)

Рисунок 2 – Динамика индексов радиального прироста древостоев (i) во время засух, до и после засух (1992, 1995 гг.) географических культур сосны обыкновенной в климатипах: а) «Белгород», «Владимир», «Воронеж»; б) «Калач», «Курск», «Минск»

После засух 1992 и 1995 годов прирост у климатипа «Воронеж» значительно вырос, особенно в сравнении с приростом у климатипов «Белгород» и «Владимир». У климатипа «Курск» наблюдаются минимумы прироста в годы засух 1992 и 1995 годов. После засух прирост в этом климатипе увеличивается.



а) б)

Рисунок 3 – Динамика индексов радиального прироста древостоев (i) во время засух, до и после засух (2010, 2014 гг.) географических культур сосны обыкновенной в климатипах: а) «Белгород», «Владимир», «Воронеж»; б) «Калач», «Курск», «Минск»

Динамика прироста древостоев за период 2007-2017 гг., отражающая реакцию на засухи 2010 и 2014 гг., выявила более высокие значения индексов и более высокую амплитуду колебаний. Прирост в климатипе «Курск» не имеет четкой реакции на засухи 2010 и 2014 годов. Наблюдается увеличение прироста: 2007 год – 88%, 2017 год – 198%. Реакция на засуху 2010 года (уменьшение прироста) наблюдается практически у всех климатипов, кроме климатипа «Курск». Заметное снижение прироста в 2014 году наблюдается у климатипа «Минск».

Анализ реакции 6-ти климатипов сосны по протоколу Lloret et al. (индексы сопротивления (R_t), устойчивости (R_s) и восстановления (R_c)) для 4-х рассматриваемых засух показал следующее (таблица 2).

Таблица 2 – Средние индексы сопротивления (R_t), устойчивости (R_s) и восстановления (R_c) географических культур сосны обыкновенной 6-ти климатипов в ответ на стресс засух 1992, 1995, 2010, 2014 гг.

Год засухи	R_t	R_s	R_c
«Белгород»			
1992 год	1,11 ± 0,001	1,01 ± 0,002	0,63 ± 0,001
1995 год	0,69 ± 0,002	1,35 ± 0,003	0,88 ± 0,002
2010 год	1,25 ± 0,002	0,92 ± 0,004	0,64 ± 0,002
2014 год	0,89 ± 0,003	1,22 ± 0,001	1,03 ± 0,001
«Владимир»			
1992 год	0,85 ± 0,002	0,80 ± 0,004	0,88 ± 0,002
1995 год	0,97 ± 0,003	1,07 ± 0,003	0,99 ± 0,004
2010 год	0,98 ± 0,001	0,52 ± 0,002	0,67 ± 0,001
2014 год	0,85 ± 0,001	1,12 ± 0,002	0,54 ± 0,003
«Воронеж»			
1992 год	1,25 ± 0,002	0,98 ± 0,004	0,83 ± 0,002
1995 год	1,04 ± 0,003	1,25 ± 0,003	1,45 ± 0,001
2010 год	0,98 ± 0,002	0,81 ± 0,001	1,29 ± 0,004
2014 год	1,16 ± 0,004	0,69 ± 0,004	0,73 ± 0,004
«Калач»			
1992 год	0,87 ± 0,001	0,56 ± 0,002	1,15 ± 0,002
1995 год	0,56 ± 0,002	0,87 ± 0,003	0,75 ± 0,003
2010 год	0,98 ± 0,002	0,69 ± 0,001	0,70 ± 0,004
2014 год	0,72 ± 0,003	0,77 ± 0,005	0,81 ± 0,001
«Курск»			
1992 год	0,84 ± 0,002	0,89 ± 0,001	0,62 ± 0,001
1995 год	0,48 ± 0,003	0,85 ± 0,002	0,77 ± 0,003
2010 год	0,85 ± 0,002	1,02 ± 0,004	1,24 ± 0,002
2014 год	0,79 ± 0,003	1,07 ± 0,003	1,36 ± 0,002
«Минск»			
1992 год	1,01 ± 0,002	0,66 ± 0,002	0,52 ± 0,003
1995 год	0,99 ± 0,001	0,72 ± 0,003	0,81 ± 0,002
2010 год	0,78 ± 0,001	0,81 ± 0,001	0,75 ± 0,002
2014 год	0,71 ± 0,003	0,55 ± 0,001	0,68 ± 0,001

Индекс сопротивления в годы, предшествующие засухе 1992 года у климатипов «Белгород», «Воронеж» и «Минск» больше 1, что показывает высокую устойчивость деревьев за три года предшествующих засухе. У климатипов «Владимир», «Калач» и «Курск» рассчитанные индексы сопротивления (R_t) меньше 1, что показывает снижение прироста деревьев до наступления засухи. Индексы сопротивления, полученные до засухи 1995 года значительно снижены практически во всех исследуемых климатипах, кроме климатипа «Воронеж», у него индекс сопротивления приближен к 1 (1,04), т.е. деревья в этом климатипе не снизили прирост перед засухой. Рассчитанный индекс сопротивления в годы, предшествующие засухе 2010 года больше единицы только в климатипе «Белгород». Индексы сопротивления, рассчитанные в годы перед засухой 2014 года в пяти климатипах меньше единицы, кроме климатипа «Воронеж» (R_t =1,16). В целом анализ индекса сопротивления показал, что снижение прироста до засухи отмечается по всем 4-м исследуемым засухам в 3-х из 6-ти климатипов («Калач», «Курск», «Владимир»). Климатип «Минск» снизил прирост в 3-х из 4-х засух, климатип «Белгород» – в 2-х, климатип «Воронеж» только к одной самой сильной (2010 г.).

Средние значения индексов устойчивости меньше единицы в 1992, 1995 годах получены в климатипах «Калач», «Курск», «Минск». Устойчивость к засухам 1992 и 1995 года выявлена у климатипа «Белгород». У климатипов «Воронеж» и «Владимир» индекс устойчивости больше 1 (1,25 и 1,07 соответственно) получен только в 1995 году. Индексы устойчивости, рассчитанные в год засухи 2010 года низкие (R_s < 1), у всех климатипов, кроме климатипа «Курск». В целом анализ индекса устойчивости показал, что климатипы «Минск» и «Калач» снизили прирост в 4-х засухах, климатип «Воронеж» – в 3-х, климатипы «Владимир» и «Курск» – в 2-х, климатип «Белгород» – в один год засухи. В годы наиболее сильных засух 1992 и 2010 прирост снизили по пять климатипов, в 2014 году три климатипа, в 1995 году – два.

Индекс восстановления R_c у деревьев климатипа «Курск» после сильной засухи 2010 года выше 1, т.е. засуха не повлияла на их последующий рост. Также восстановили и повысили свой прирост деревья в климатипе «Воронеж» – R_c = 1,29. В трех климатипах: «Белгород», «Курск» и «Владимир», индекс устойчивости в год засухи 2014 года выше 1 (1,22, 1,07 и 1,12 соответственно). При этом индекс восстановления у климатипов «Белгород» и «Курск» в течение трех лет после засухи 2014 года также выше 1. У климатипа «Белгород» индекс восстановления по сравнению с индексом устойчивости немного снижается, оставаясь при этом R_c > 1.

Среднее значение R_c (индекс восстановления) для сосновых древостоев после засухи 2010 года у исследованных климатипов варьирует в диапазоне от 0,64 (климатип «Белгород») до 1,29 (климатип «Воронеж») (p < 0,05). У климатипов «Белгород», «Минск» снижение прироста продолжилось в 2011 и даже в 2012 году. Вероятно, что снижение радиального прироста отдельных климатипов, как и ухудшение их общего санитарного состояния, является долговременным эффектом, связанным с засухой. Анализ индекса восстановления показал, что наиболее интенсивное и длительное снижение прироста после засух отмечено в климатипах «Белгород», «Владимир» и «Минск». Климатипы «Воронеж» и «Курск» повысили прирост после 2-х засух, климатип «Калач» – после одной.

Заключение

У большинства климатипов и в большинстве случаев засух, засуха наступает не внезапно, индекс сопротивления (интенсивность замедления роста деревьев перед засухой) снижается.

Реакция прироста в год засухи неодинаково проявляется как по климатипам, так и по рассматриваемым засухам. Прямой связи между интенсивностью засухи и реакцией климатипов не прослеживается, однако в годы наиболее сильных засух (1992, 2010 гг.) прирост снижен у 5-ти климатипов из 6-ти.

Наиболее интенсивное и длительное снижение прироста после засух отмечено в климатипах «Белгород», «Владимир» и «Минск». Климатипы «Воронеж» и «Курск» повысили прирост после 2-х засух, климатип «Калач» – после одной.

В результате комплексного анализа по трём индексам протокола Lloret et al. установлена наиболее сильная негативная реакция на засухи климатипов «Минск» и «Владимир». Климатипы «Воронеж», «Калач» «Курск» и «Белгород» не показали однозначного преимущества с учётом всех трёх индексов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-16-20047 «Структура популяций и внутривидовая изменчивость дендрофенотипов сосны обыкновенной и дуба черешчатого как основа адаптационной устойчивости к изменениям климата и иным внешним воздействиям».

Список литературы

1. Заявка № 2023615502 Российская Федерация. Программа для обработки временных рядов методами скользящего среднего и математического моделирования // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: № 2023614622: заяв.

20.02.2023 : опуб. 15.03.2023 ; приоритет 20.02.2023; заявитель ФГБОУ ВО «ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова» ; пат поверенный Мироненко, А.В., Матвеев С.М., Литовченко Д.А. – 10 с.

2. Методы дендрохронологии : учеб.-метод. пособие / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов [и др.] ; отв. ред.: Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва [и др.]. – Красноярск : Издат. центр Краснояр. гос. ун-та, 2000. – 80 с.

3. Шевелина, И.В. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде STATISTICA / И.В. Шевелина, Д.Н. Нуриев. – Екатеринбург: УГЛТУ. 2022. – 112 с.

4. Arend, M. Seasonal photosynthetic response of European beech to severe summer drought: limitation, recovery and post-drought stimulation / M. Arend, K. Sever, E. Pflug, A. Gessler, M. Schaub // Agric. For. Meteorol. – 2016. – 220. – P. 83–89. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.01.011

5. Lloret, F. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests / F. Lloret, E.G. Keeling, A. Sala // Oikos. – 2011. – 120. – P. 1909–1920. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x

6. Pretzsch, H. Drought can favour the growth of small in relation to tall trees in mature stands of Norway spruce and European beech / H. Pretzsch, G. Schütze, P. Biber // For. Ecosyst. – 2018. – P. 1–19. DOI: 10.1186/s40663-018-0139-x

7. TSAP-Win Professional. Анализ временных последовательностей и их представление в дендрохронологии и в других родственных областях применения. Руководство пользователя (технический перевод). Редакция 19.12.2005. – 44 с.

8. van Mantgem, P. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States / P. van Mantgem, N.L. Stephenson, J.C. Byrne, L.D. Daniels, J.F. Franklin, P.Z. Fulé, et al. // Science. 2009. – 323. – P. 521–524. DOI: 10.1126/science.1165000

References

1. Zayavka № 2023615502 Rossijskaya Federatsiya. Programma dlya obrabotki vremennykh ryadov metodami skol'zyashhego srednego i matematicheskogo modelirovaniya. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EHVM: No 2023614622: zayav. 20.02.2023 : opub. 15.03.2023 ; prioritet 20.02.2023; zayavitel' FGBOU VO “VGLTU im. G.F. Morozova” ; pat poverennyj Mironenko, A.V., Matveev S.M., Litovchenko D.A. 10 p. (In Russian).

2. Metody dendrokhronologii: ucheb.-metod. posobie / S.G. Shiyatov, E.A. Vaganov, A.V. Kirdyanov [i dr.]; otv. red.: E.A. Vaganov, S.G. Shiyatov; Ros. akad. nauk. Sib. otd-nie. In-t lesa im. V. N. Sukachyova [i dr.]. - Krasnoyarsk: Izdat. tsentr Krasnoyar. gos. un-ta, 2000. 80 p. (In Russian)

3. Shevelina, I.V. Statisticheskaya obrabotka lesovodstvenno-taksatsionnoj informatsii v srede STATISTICA. I.V. Shevelina, D.N. Nuriev. Ekaterinburg: UGLTU, 2022. 112 p. (In Russian).

4. Arend, M. Seasonal photosynthetic response of European beech to severe summer drought: limitation, recovery and post-drought stimulation. M. Arend, K. Sever, E. Pflug, A. Gessler and M. Schaub. *Agric. For. Meteorol.* 2016. 220. pp. 83–89. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.01.011

5. Lloret, F. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. F. Lloret, E.G. Keeling, A. Sala *Oikos.* 2011. 120. pp. 1909–1920. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x

6. Pretzsch, H. Drought can favour the growth of small in relation to tall trees in mature stands of Norway spruce and European beech. H. Pretzsch, G. Schütze, P. Biber. *For. Ecosyst*. 2018. pp. 1–19. DOI: 10.1186/s40663-018-0139-x

7. TSAP-Win™. Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and related applications. Rinntech. V.0.53. 2005. 44 p.

8. van Mantgem, P. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. P. van Mantgem, N.L. Stephenson, J.C. Byrne, L.D. Daniels, J.F. Franklin, P.Z. Fulé, et al. *Science.* 2009. 323. pp. 521–524. DOI: 10.1126/science.1165000

DOI: 10.58168/Forestry2025_299-302
УДК 330.15

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В МАЛОЛЕСНЫХ РЕГИОНАХ

А.Ю. Небесная

к.э.н., доцент кафедры «мировой и национальной экономики»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация. В условиях растущего потребления и обострения экологических проблем национальные экономики вынуждены искать более устойчивые модели развития. На сегодняшний день актуальной является концепция экономики замкнутого цикла или циркулярной экономики. Эта модель использования ресурсов, основанная на максимальном их использовании. В рамках стремления национальной экономики к углеродной нейтральности и развития экономики замкнутого цикла в России был разработан национальный проект "Экологическое благополучие". В данный национальный проект входят ряд федеральных проектов, касаемых рационального использования природных ресурсов, их сохранения и преумножения. В рамках данной статьи были рассмотрены основные этапы развития данного проекта и планируемые результаты их достижения.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла, экологическое благополучие, федеральные проекты, биологическое разнообразие, вторичные ресурсы, особо охраняемые природные территории, экологический туризм.

KEY DIRECTIONS OF CIRCULAR ECONOMY DEVELOPMENT IN REGIONS WITH LOW FOREST COVERAGE

A.Y. Nebesnaya
Candidate of economic Sciences,
Associate Professor of the Department of world and national economic

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. In the context of growing consumption and escalating environmental problems, national economies are compelled to seek more sustainable development models. One of the promising concepts is the circular economy. It offers an approach based on the maximum utilization of resources. As part of the national economy’s стремление towards carbon neutrality and the development of a circular economy in Russia, the national project «Environmental Well-being» has been developed. This national project includes several federal projects related to the rational use of natural resources, their conservation, and enhancement. This article examines the main stages of this project’s development and the planned outcomes of their implementation.

Keywords: circular economy, environmental well-being, federal projects, biological diversity, secondary resources, specially protected, natural areas, ecotourism.

В условиях растущего потребления, истощения природных ресурсов и обострения экологических проблем, экономика вынуждена искать новые, более устойчивые модели

© Небесная А. Ю., 2025

развития. Одной из наиболее перспективных концепций, набирающих обороты в последние годы, является экономика замкнутого цикла [2]. Она предлагает подход, основанный на максимальном использовании ресурсов, минимизации отходов и вовлечении продукции и материалов в новые жизненные циклы [5]. Экономика замкнутого цикла – это экономическая модель, которая стремится сохранить ценность продуктов, компонентов и материалов как можно дольше, поддерживая их в обороте и минимизируя образование отходов [4].

В рамках стремления национальной экономики к углеродной нейтральности и развития экономики замкнутого цикла в России был разработан национальный проект "Экологическое благополучие". В данный национальный проект входят ряд федеральных проектов, касаемых рационального использования природных ресурсов, их сохранения и преумножения. В частности, разработаны такие проекты, поддерживаемые на федеральном уровне, как федеральный проект «Экономика замкнутого цикла», федеральный проект «Сохранение лесов», федерального проекта «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма» [1].

Основной целью формирования экономики замкнутого цикла, обеспечивающей к 2030 году сортировку 100% объема ежегодно образуемых твердых коммунальных отходов, захоронение не более чем 50% таких отходов и вовлечение в хозяйственный оборот не менее чем 25% отходов производства и потребления в качестве вторичных ресурсов и сырья, а также утилизацию и обезвреживание к 2036 году не менее чем 50% общего объема отходов I-II классов опасности [1]. Для достижения необходимых результатов утверждены региональных программ по переходу к экономике замкнутого цикла (ЭЗЦ), которые включают в т.ч. меры по сокращению использования отдельных видов продукции, не подлежащих переработке, в целях минимизации образования отходов[3]; реализация мероприятий по экологическому просвещению и популяризации принципов ЭЗЦ – проведение рекламных, информационных, просветительских кампаний с ежегодным охватом населения не менее 16 млн человек, мероприятий по обучению детей и молодежи рациональному природопользованию.

В рамках федерального проекта «Сохранение лесов» предполагается сохранение и преумножение лесов страны для создания комфортных и безопасных условий проживания, а также поддержания и развития экономического потенциала лесного комплекса. Ключевыми результатами, по которым можно будет оценить эффект от реализации проекта, является:

- ✓ отношение площади лесовосстановления и лесоразведения к площади вырубленных и погибших лесных насаждений;
- ✓ сокращение площади лесных пожаров к 2021 году;
- ✓ отнесение площадей лесовосстановления к землям, на которых расположены леса

В таблице 1 приведены значения данных показателей. Стоит отметить, что ожидаемые результаты должны существенно привести к росту площадей лесовосстановления и сокращения площадей лесных пожаров. Это планируется достичь за счет закупки лесопожарной и лесохозяйственной техники, проведение мероприятий по увеличению площади лесовосстановления на лесных участках вокруг городов и промышленных центров и увеличение площади земель лесного фонда перспективных для организации многоцелевого использования лесов.

Таблица 1 - Динамика ключевых показателей федерального проекта «Сохранение лесов»

Показатели	2023	2027	2030
Отношение площади лесовосстановления и лесоразведения к площади вырубленных и погибших лесных насаждений, %	100	106	112
Сокращение площади лесных пожаров к 2021 году, %	44,2	51,4	51,7
Отнесение площадей лесовосстановления к землям, на которых расположены леса, тыс.га	1241,7	3078	6078

В рамках федерального проекта «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма» предполагается так же как и в проекте по сохранению лесов - сохранение лесов и биологического разнообразия, устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий и создание условий для экологического туризма во всех национальных парках.

Ключевые мероприятия и результаты проекта включают:

- ✓ создание туристической инфраструктуры, являющейся первоочередным решением по привлечению населения к объектам экологического туризма;
- ✓ сохранение природных объектов за счет поддержки реализации основных направлений деятельности национальных парков федерального значения;
- ✓ реконструкция и обустройство объектов, расположенных на Байкальской природной территории;
- ✓ сохранение и восстановление популяции редких видов животных;
- ✓ поддержка центра реабилитации для травмированных и конфискованных диких животных;
- ✓ подготовка специалистов для заповедной системы;
- ✓ организация экологического просвещения детей на ООПТ федерального значения и обучения детей основам экологической грамотности, бережному отношению к природе и рациональному использованию природных ресурсов.

В таблице 2 приведена динамика основных показателей по проекту. Прежде всего стоит отметить, что именно лесные ресурсы и их многоцелевое использование востребовано в развитии экологического туризма в виду огромного их количества и возрастающей необходимости использования в рекреационной деятельности человека. Таким образом, должно возрасти количество посетителей ООПТ в РФ и поставлены под большую защиту редкие животные. находящихся под угрозой исчезновения.

Таблица 2 - Динамика ключевых показателей федерального проекта «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма»»

Показатели	2024	2027	2030
Количество посетителей ООПТ, млн.чел.	17,6	18,8	20,6
Доля редких и находящихся под угрозой исчезновения объектов животного мира, охваченных мероприятиями по восстановлению их численности, %	25	31	33

Несмотря на очевидные преимущества, переход к экономике замкнутого цикла требует усиленного внимания со стороны:

-трансформации мышления населения, требующего серьезных изменений потребительских привычек. Для этого следует в первую очередь просвещать молодежь и детей, прививать им новые привычки потребления.

-инвестиций, которые требуются для создания новых технологий в потреблении и инфраструктуры;

-нормативно-правовой базы, которая должна быть разработана в соответствии с законодательством, стимулирующего циркулярные практики.

-усложненной логистики, которая может организовать эффективные системы сбора, сортировки и переработки материалов.

Таким образом, экономика замкнутого цикла – это не просто модный тренд, а необходимый шаг к построению устойчивого и процветающего будущего. Она предлагает комплексное решение для глобальных экологических и экономических вызовов, способствуя более рациональному использованию ресурсов, снижению воздействия на окружающую среду и созданию новых возможностей для инноваций и роста. Переход к циркулярной экономике требует совместных усилий со стороны правительств, бизнеса и каждого человека, но результаты – здоровая планета и благополучное общество – стоят этих усилий.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года”
2. Ахметзянов Р.Н. Экономика устойчивого потребления: переход к экономике замкнутого цикла / Р.Н. Ахметзянов, М.Р. Гаптельхаков, М.И. Корнеева // Экономика и управление: проблемы, решения. - 2025. - Т. 8. № 2 (155). -С. 5-12.
3. Dorokhina E.Yu. Circular economy in Russia В книге: Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective. / E.Yu Dorokhina, S.G. Kharchenko //Singapure. - 2021. - С. 309-327.
4. Key aspects of implementing the concept of closed-loop economy in the construction industry / Khromykh Viktoriia Denisovna, Chubarkina Irina Yuryevna / Real Estate: Economics, Management. 2025. № 1. С. 59-62.
5. Момот Р.В. Принципы циркулярной экономики в создании замкнутых циклов переработки осадка сточных вод в органическое удобрение / Р.В. Момот, А.Ю. Небесная // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2024. - Т. 12. № 1 (64). -С. 64-78.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2024 No. 309 “On the National Development Goals of the Russian Federation for the Period up to 2030 and for the Prospective Period up to 2036”
2. Ahmetzyanov R.N. Sustainable Consumption Economy: Transition to Circular Economy / R.N. Ahmetzyanov, M.R. Gaptelkhakov, M.I. Korneeva // Economics and Management: Problems, Solutions. — 2025. — Vol. 8, No. 2 (155). — Pp. 5–12.
3. Dorokhina E.Yu. Circular economy in Russia В книге: Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective. / E.Yu Dorokhina, S.G. Kharchenko //Singapure. - 2021. - С. 309-327.
4. Key aspects of implementing the concept of closed-loop economy in the construction industry / Khromykh Viktoriia Denisovna, Chubarkina Irina Yuryevna / Real Estate: Economics, Management. 2025. № 1. С. 59-62.
5. Momot R.V. Principles of Circular Economy in Creating Closed-Loop Systems for Sewage Sludge Processing into Organic Fertilizer / R.V. Momot, A.Yu. Nebesnaya // Current Research Trends of the XXI Century: Theory and Practice. — 2024. — Vol. 12, No. 1 (64). — Pp. 64–78.

DOI: 10.58168/Forestry2025_303-309
УДК 338.1

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.А. Осипов
Соискатель кафедры мировой и национальной экономики
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Цель исследования заключается в разработке концептуальных положений управления социо-эколого-экономическим развитием строительных комплексов, направленных на повышение их устойчивости в условиях глобальных экологических вызовов и цифровой трансформации. Методологической основой работы является системный и сравнительный анализ существующих подходов к определению и внедрению эко-инноваций, рассматриваемых через призму трех измерений: цели, механизмов и экологического воздействия. Результатом исследования является формирование интегрированной концепции устойчивого строительства на основе замкнутого цикла, включающей рекомбинантные эко-инновации, способные минимизировать экологическую деградацию. Выводы подчеркивают необходимость межуровневого подхода к управлению (макро-, мезо– и микроуровень), интеграции устойчивости в бизнес-операции и установления партнерства по всей цепочке создания стоимости.

Ключевые слова: устойчивое развитие, социо-эколого-экономическое развитие, строительные комплексы, эко-инновации.

CONCEPTUAL PROVISIONS FOR INCREASING SUSTAINABILITY OF SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION COMPLEXES

A.A. Osipov
Candidate of the Department of World and National Economy,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

Abstract.
The purpose of the study is to develop conceptual provisions for managing the socio-ecological-economic development of construction complexes aimed at improving their sustainability in the context of global environmental challenges and digital transformation. The methodological basis of the work is a systematic and comparative analysis of existing approaches to the definition and implementation of eco-innovations, considered through the prism of three dimensions: purpose, mechanisms and environmental impact. The result of the study is the formation of an integrated concept of sustainable construction on the basis of a closed cycle, including recombinant eco-innovations capable of minimizing environmental degradation. The findings emphasize the need for a cross-level management approach (macro-, meso- and micro-level), integrating sustainability into business operations and establishing partnerships along the entire value chain.

Keywords: sustainable development, socio-ecological-economic development, construction complexes, eco-innovations.

© Осипов А. А., 2025

В условиях возрастающих глобальных экологических вызовов и цифровой трансформации строительные комплексы требуют новых управленческих подходов, обеспечивающих устойчивое социо-эколого-экономическое развитие. Концепция управления на основе эко-инноваций, представленных в виде рекомбинантных решений, направлена на минимизацию экологических рисков и повышение эффективности использования ресурсов. Трехмерная модель эко-инноваций включает: цель (ориентация на устойчивость продуктов и процессов), механизм внедрения (модификация, редизайн, создание альтернатив), и импакт (снижение экологической нагрузки). Управление осуществляется на макро-, мезо– и микроуровнях с интеграцией устойчивости в бизнес-операции и кооперацией по цепочке стоимости, что формирует основу для устойчивого строительного комплекса с замкнутым циклом [1].

Преамбула к концептуальным положениям повышения устойчивости социо-эколого-экономического развития строительных комплексов основывается на необходимости перехода к экологически устойчивым и ресурсосберегающим моделям в условиях глобальных экологических изменений и цифровой трансформации. Строительные комплексы, являясь значимыми потребителями ресурсов и источниками экологической нагрузки, требуют внедрения инновационных управленческих подходов, сочетающих технологические и нетехнологические аспекты устойчивости. Принципы управления социо-эколого-экономическим развитием направлены на создание системных условий для перехода к замкнутым циклам производства, повышения эко-эффективности и интеграции устойчивости на всех уровнях функционирования [2].

В научной литературе выделяются исследования, фокусирующиеся на управлении региональными строительными комплексами с позиции экологичности и социально-экономической результативности. Прослеживаются три ключевые линии: первая связана с институциональными и организационными механизмами обеспечения устойчивости строительных комплексов [1; 2; 5]; вторая – с технологическими и инновационными направлениями, включая «зеленые» технологии и цифровизацию [3; 4; 6; 7; 8]; третья – с экосистемным и социо-эколого-экономическим подходом к управлению строительством как многоуровневой системой [9; 10; 11].

Султамутова рассматривает механизмы регулирования «зеленого» строительства в контексте региональной политики [1]. Аналогичный акцент на взаимосвязи экономической и экологической устойчивости строительства делает Когтев, подчеркивая необходимость комплексного подхода к обеспечению баланса интересов [2].

Ряд авторов раскрывает проблему внедрения технологий устойчивого строительства на рынке недвижимости российских городов, где ключевым условием устойчивости выступает цифровизация и инновационные практики проектирования [3]. Рыжанушкина и Габрин вводят эколого-ориентированный подход как основу управления инновационным развитием строительных комплексов, увязывая его с региональной спецификой [4]. Субботин также акцентирует внимание на инновационном развитии, подчеркивая, что эколого-ориентированное управление способно формировать долгосрочную конкурентоспособность регионального строительства [5].

Формирование конкурентных преимуществ «экологического» строительства трактуется Петуховым через призму концепции устойчивого развития, где главным ресурсом становится социальное доверие и институциональная поддержка [6]. Зарубежные авторы вносят вклад в развитие концептуального аппарата: Sezemin исследует инновации в инфраструктуре городских экосистем, связывая «зеленые» решения с энергетической устойчивостью [7], а Simionov и Кирпиченков предлагают систематику уровней управления и индикаторов экологического менеджмента в строительстве [8].

Интерес представляет работа Иголкина и соавторов, в которой дана комплексная оценка современного состояния строительного комплекса и обозначены потенциальные траектории его развития с учетом социально-экономических вызовов [9]. В то же время Петров и коллеги обосновывают целесообразность применения экосистемного подхода в

управлении строительными проектами, что расширяет горизонты анализа устойчивости за счет учета сетевых взаимодействий и партнерских моделей [10].

Фомичев и Пасько рассматривают проблемы экологической устойчивости строительной отрасли России сквозь призму глобальных вызовов, акцентируя внимание на институциональных барьерах и возможностях для адаптации к современным стандартам [11].

Концептуальные положения повышения устойчивости социо-эколого-экономического развития строительных комплексов можно рассматривать как целостную систему идей, отражающих современную логику перехода к устойчивому типу роста.

1. Устойчивость строительных комплексов формируется как результат системного внедрения рекомбинантных эко-инноваций, сочетающих технологические, организационные и институциональные решения. Такие инновации направлены не только на минимизацию отрицательного воздействия на окружающую среду, но и на формирование принципиально новых стандартов экологически ориентированного развития, в которых приоритет отдается ресурсосбережению, снижению углеродного следа и повышению социальной ответственности строительной отрасли [3; 6]. Ключевым методологическим основанием здесь выступает интеграция принципов экономики замкнутого цикла, предполагающая переход от линейной модели «производство – потребление – утилизация» к циркулярным практикам. Данное обстоятельство позволяет снижать ресурсоемкость, обеспечивать более полное и эффективное использование природных и вторичных ресурсов, формировать замкнутые материальные и энергетические потоки, а также минимизировать образование отходов на всех стадиях строительного процесса – от проектирования до демонтажа и утилизации [2; 4].

В качестве конкретного примера можно привести проект «The Edge» в Амстердаме (Нидерланды), который признан одним из самых «зеленых» и энергоэффективных офисных зданий в мире. Его реализация демонстрирует интеграцию рекомбинантных эко-инноваций на всех стадиях жизненного цикла. Во-первых, применена система интеллектуального управления энергопотреблением, основанная на цифровых технологиях (BIM и IoT), позволяющая оптимизировать освещение, отопление и вентиляцию в реальном времени. Это снизило углеродный след здания более чем на 70 % по сравнению со стандартными офисными комплексами. Во-вторых, использованы материалы вторичной переработки и технологии повторного применения конструктивных элементов, что отражает принципы экономики замкнутого цикла. Например, элементы интерьера и отделки разработаны с учетом возможности их демонтажа и последующей переработки. В-третьих, проект реализован в партнерстве между девелопером, технологическими компаниями и муниципальными органами власти, что иллюстрирует институционально-организационную составляющую рекомбинантных инноваций.

2. Реализация устойчивых практик в строительных комплексах носит по своей природе многоуровневый характер и требует согласованности управленческих решений на разных иерархических уровнях. На макроуровне ключевую роль играют государственные регуляторные инструменты, формирующие институциональные рамки и стимулирующие переход к экологически ориентированным моделям развития через систему нормативов, стандартов и стратегических программ [1]. На мезоуровне значимыми становятся региональные механизмы, обеспечивающие адаптацию общенациональных приоритетов к специфике территорий и создающие условия для интеграции строительного комплекса в социально-экономическую и экологическую систему региона [5]. На микроуровне определяющими являются корпоративные практики, ориентированные на внедрение инновационных технологий, повышение экологической результативности бизнес-процессов и формирование культуры устойчивости в организациях строительной отрасли. Методологическим основанием для такой многоуровневой модели служит концепция жизненного цикла продукции и процессов, которая позволяет оценивать экологические последствия деятельности строительных комплексов в динамике – от проектирования и производства до эксплуатации и утилизации объектов. Применение данного подхода обеспечивает учет не только краткосрочных эффектов, но и долгосрочного влияния на

природные и социальные системы, что делает возможным принятие стратегических управленческих решений с ориентацией на устойчивое развитие [7; 8].

Конкретным примером реализации многоуровневого подхода в устойчивом строительстве можно считать проект жилого района «ЗИЛАРТ» в Москве. На макроуровне его развитие стало возможным благодаря действию государственных регуляторных инструментов: федеральных стандартов энергоэффективности зданий, требований по экологической сертификации объектов и стратегических ориентиров «зеленой» урбанистики, закрепленных в национальных программах устойчивого развития [1]. На мезоуровне значимым фактором стала политика города Москвы по реновации и реорганизации промышленных территорий. Региональные власти разработали комплекс мер по поддержке застройщиков, включающий стимулирование применения энергоэффективных технологий, цифровизацию градостроительного контроля и внедрение экологических стандартов в строительные проекты [5]. На микроуровне компания-застройщик «ЛСР» внедрила в проект «ЗИЛАРТ» практики корпоративной экологической ответственности. Были применены инновационные технологии очистки сточных вод и переработки строительных отходов, организована система энергоэффективного освещения и вентиляции, а при проектировании использованы BIM-модели для оптимизации жизненного цикла зданий.

3. Особое значение в обеспечении устойчивости строительных комплексов приобретает развитие партнерств и кооперационных взаимодействий на всех стадиях и звеньях цепочки создания стоимости. Такая интеграция позволяет не только ускорить трансфер и масштабирование эко-инноваций, но и расширить их распространение в смежные отрасли, создавая кумулятивный эффект, усиливающий конкурентные позиции региона и формирующий мультипликативное воздействие на национальную экономику [9; 10]. В этой связи повышение устойчивости невозможно без перехода к гибридным моделям управления, в которых технологические инновации – цифровизация процессов, внедрение «зеленых» технологий, использование ресурсосберегающих решений – сочетаются с институциональными и социальными новациями. Последние проявляются в разработке новых форм регулирования, повышении роли общественного контроля, включении стейкхолдеров в процессы стратегического планирования и реализации проектов. Именно синергия технологических и нетехнологических решений формирует основу для адаптивного и устойчивого развития строительных комплексов, отвечающих как локальным, так и глобальным вызовам современности [4; 6; 11].

Показательным примером может служить проект «Сколково Парк» в Москве, где устойчивость обеспечивается за счет партнерства девелопера, технологических компаний и государственных структур. В проекте сочетаются цифровые решения (BIM-моделирование, интеллектуальные системы энергосбережения) с социальными и институциональными новациями – обязательной экологической сертификацией, вовлечением жителей в процессы управления и соблюдением «зеленых» стандартов.

4. В данной логике строительные комплексы целесообразно трактовать как промышленные экосистемы замкнутого цикла, в которых планирование, организация и контроль внедрения эко-инноваций выступают ключевыми механизмами снижения экологического и социального ущерба [5; 10]. Такой подход позволяет не только минимизировать негативные последствия хозяйственной деятельности, но и формировать новые модели взаимодействия между участниками отрасли, основанные на принципах циркулярной экономики и ответственного природопользования. При этом устойчивое развитие строительных комплексов невозможно без применения адаптивных управленческих механизмов, способных учитывать динамику нормативно-правовой базы, реагировать на глобальные экологические вызовы и соответствовать растущим ожиданиям общества в отношении качества городской среды, энергоэффективности и социальной справедливости [7; 11]. Адаптивность управления обеспечивает гибкость стратегий, возможность интеграции передовых технологических и институциональных решений, а также повышение резильентности строительных комплексов в условиях постоянных изменений внешней среды.

Примером может служить проект HafenCity в Гамбурге (Германия), где бывшие портовые территории преобразованы в современный городской район по принципам промышленной экосистемы замкнутого цикла. Здесь внедрены системы вторичного использования строительных материалов, локальная энергетическая инфраструктура на основе возобновляемых источников, цифровые платформы для мониторинга экологической нагрузки. Управление развитием района построено на адаптивных механизмах: проект постоянно корректируется с учетом изменений нормативно-правовой базы ЕС, новых экологических стандартов и общественных требований к качеству городской среды.

Интегрированная концепция устойчивого строительства, основанная на принципах замкнутого цикла, формирует теоретико-методологическую основу для трансформации строительных комплексов в направлении устойчивого развития. Ключевым элементом выступает использование рекомбинантных эко-инноваций, направленных на минимизацию экологической деградации, оптимизацию использования природных и вторичных ресурсов, сокращение углеродного следа и формирование ресурсосберегающих производственных практик. Эффективная реализация данной концепции возможна только при условии многоуровневого управления:

– на макроуровне это предполагает разработку институциональной и нормативной базы, стимулирующей внедрение «зеленых» технологий и поддержку циркулярных бизнес-моделей;

– на мезоуровне акцент смещается на региональные механизмы регулирования и развития, обеспечивающие адаптацию общенациональных приоритетов к территориальной специфике и поддерживающие инновационную активность строительных комплексов;

– на микроуровне ключевым фактором становится внедрение устойчивых бизнес-моделей и управленческих решений в компаниях строительной отрасли, включая практики корпоративной экологической ответственности, цифровизацию и экологизацию проектирования.

Приведем несколько практических кейсов применения интегрированной концепции устойчивого строительства на основе принципов замкнутого цикла и рекомбинантных эко-инноваций.

1. Макроуровень – национальные инициативы «зеленого строительства» (Россия, ЕС, Китай).

В России постепенно внедряются принципы «зеленого стандарта» в строительстве: нормативно закрепляются требования по энергоэффективности зданий, переработке отходов стройиндустрии, использованию вторичных материалов. В Европейском союзе действует программа Circular Economy Action Plan, предусматривающая повторное использование строительных материалов и минимизацию углеродного следа зданий. В Китае реализуются государственные программы «Zero-waste Cities», где строительные комплексы интегрированы в замкнутые материальные циклы.

2. Мезоуровень – региональные кластеры устойчивого строительства.

В Москве и Санкт-Петербурге формируются региональные программы «зеленого девелопмента», где приоритет отдается энергоэффективным жилым комплексам и цифровому мониторингу строительных процессов. В Татарстане внедряются элементы циркулярной экономики в строительстве через переработку бетона и повторное использование строительных отходов. В странах Северной Европы (например, в Финляндии и Дании) действуют региональные кластеры по внедрению технологий вторичной переработки древесины и композитов, что снижает нагрузку на экосистемы.

3. Микроуровень – корпоративные стратегии и строительные проекты.

– В России девелопер ПИК внедряет BIM-технологии (цифровые двойники зданий), что позволяет оптимизировать ресурсопотребление и повысить энергоэффективность.

– В Германии компания Hochtief реализует проекты «нулевого отхода», где весь строительный мусор перерабатывается и используется повторно.

– В Японии строительные корпорации применяют принципы design for disassembly – проектирование зданий с возможностью разборки и повторного использования конструктивных элементов.

– В Нидерландах проект The Green House в Утрехте стал примером циркулярного здания, где материалы и оборудование изначально предназначены для повторного применения.

Заключение подводит итог необходимости разработки и внедрения концептуальных положений устойчивого социо-эколого-экономического развития строительных комплексов, опирающихся на рекомбинантные эко-инновации и замкнутые циклы производства [4]. Данные подходы направлены на минимизацию экологического ущерба и рациональное использование ресурсов, что становится критически важным в условиях глобальных экологических вызовов и технологической трансформации. Представленные механизмы управления на макро-, мезо– и микроуровнях позволяют не только повысить экологическую эффективность строительных процессов, но и интегрировать принципы устойчивости во все аспекты операционной деятельности строительных комплексов [5]. Эти положения формируют основу для нового уровня корпоративной экологической ответственности, стимулируя отраслевое сотрудничество, инновационные подходы и устойчивую конкурентоспособность.

Список литературы

1. Султамутова, М. А. Управление региональным строительным комплексом: механизмы регулирования экологичного строительства // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 6(96). – С. 202-205. – EDN PWBBOP.

2. Когтев, Н. А. Развитие экологически и экономически устойчивого строительства / Н. А. Когтев // Проблемы развития предприятий: теория и практика : сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 22–23 апреля 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 244-247. – EDN BTTXZF.

3. Чугунова, Ю. В. Внедрение технологий устойчивого строительства на рынке недвижимости в российских городах / Ю. В. Чугунова, Э. Н. Хисамутдинова // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 8(145). – С. 472-475. – DOI 10.34925/EIP.2022.145.8.093. – EDN ZEZKXL.

4. Рыжанушкина, Ю. А. Эколого-ориентированный подход к управлению инновационным развитием регионального строительного комплекса / Ю. А. Рыжанушкина, К. Э. Габрин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 133-141. – DOI 10.14529/em180116. – EDN YTMJPW.

5. Субботин, О. М. Управление инновационным развитием регионального строительства с использованием экологоориентированного подхода / О. М. Субботин // Нормирование и оплата труда в строительстве. – 2018. – № 8. – С. 29-36. – EDN JVSWEC.

6. Петухов, М. В. Формирование конкурентных преимуществ «экологического» строительства в рамках концепции устойчивого развития / М. В. Петухов // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 2(139). – С. 936-941. – DOI 10.34925/EIP.2022.139.2.180. – EDN YLQBTM.

7. Sezemin, D. E. “Green Square”, innovation and sustainability of energy infrastructure of the modern urban ecosystem / D. E. Sezemin // Real Estate: Economics, Management. – 2024. – No. 2. – P. 78-83. – EDN DTYIST.

8. Simionov, R. Yu. Environmental management in construction: trends, management levels, indicators / R. Yu. Simionov, A. A. Kirpichenkov // Real Estate: Economics, Management. – 2024. – No. 3. – P. 33-36. – EDN LRPNNQ.

9. Оценка современного состояния и потенциальных возможностей развития строительного комплекса / И. С. Иголкин, М. С. Агафонова, З. А. Мадагов, Л. С. Мардян // Альманах Крым. – 2025. – № 48. – С. 76-83. – EDN RDUPOG.

10. Экосистемный подход при управлении реализацией строительных проектов на современном этапе / К. С. Петров, Е. А. Вагнер, И. И. Мамедов, К. В. Глыва // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2024. – № 4(1076). – С. 60-61. – EDN BKGTDM.

11. Фомичев, А. Н. Экологическая устойчивость в строительной отрасли: вызовы и возможности для России / А. Н. Фомичев, В. В. Пасько // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2025. – Т. 15, № 1-1. – С. 409-418. – DOI 10.34670/AR.2025.53.74.043. – EDN DPAHCE.

References

1. Sultamutova, M. A. Management of the regional construction complex: mechanisms for regulating environmentally friendly construction // Science and business: ways of development. – 2019. – № 6(96). – Pp. 202-205. – EDN PWBBOP.

2. Kogtev, N. A. Development of ecologically and economically sustainable construction / N. A. Kogtev // Problems of enterprise development: theory and practice : collection of articles of the XI International Scientific and Practical Conference, Penza, April 22-23, 2024. Penza: Penza State Agrarian University, 2024. pp. 244-247. EDN BTTXZF.

3. Chugunova, Yu. V. Introduction of sustainable construction technologies in the real estate market in Russian cities / Yu. V. Chugunova, E. N. Khisamutdinova // Economics and entrepreneurship. – 2022. – № 8(145). – Pp. 472-475. – DOI 10.34925/EIP.2022.145.8.093. – EDN ZEZKXL.

4. Ryzhanushkina, Yu.A. An eco-oriented approach to managing the innovative development of the regional construction complex / Yu.A. Ryzhanushkina, K. E. Gabrin // Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management. – 2018. – Vol. 12, No. 1. – pp. 133-141. – DOI 10.14529/em180116. – EDN YTMJPW.

5. Subbotin, O. M. Management of innovative development of regional construction using an environmentally oriented approach / O. M. Subbotin // Rationing and remuneration in construction. – 2018. – No. 8. – pp. 29-36. – EDN JVSWEC.

6. Petukhov, M. V. Formation of competitive advantages of "ecological" construction within the framework of the concept of sustainable development / M. V. Petukhov // Economics and entrepreneurship. – 2022. – № 2(139). – Pp. 936-941. – DOI 10.34925/EIP.2022.139.2.180. – EDN YLQBTM.

7. Sezemin, D. E. “Green Square”, innovation and sustainability of energy infrastructure of the modern urban ecosystem / D. E. Sezemin // Real Estate: Economics, Management. – 2024. – No. 2. – P. 78-83. – EDN DTYIST.

8. Simionov, R. Yu. Environmental management in construction: trends, management levels, indicators / R. Yu. Simionov, A. A. Kirpichenkov // Real Estate: Economics, Management. – 2024. – No. 3. – P. 33-36. – EDN LRPNNQ.

9. Assessment of the current state and potential development opportunities of the construction complex / I. S. Igolkin, M. S. Agafonova, Z. A. Popov, L. S. Mardyan // Almanac of Crimea. – 2025. – No. 48. – pp. 76-83. – EDN RDUPOG.

10. The ecosystem approach in managing the implementation of construction projects at the present stage / K. S. Petrov, E. A. Wagner, I. I. Mammadov, K. V. Glyva // BST: Bulletin of Construction Machinery. – 2024. – № 4(1076). – Pp. 60-61. – EDN BKGTDM.

11. Fomichev, A. N. Environmental sustainability in the construction industry: challenges and opportunities for Russia / A. N. Fomichev, V. V. Pasko // Economics: yesterday, today, tomorrow. – 2025. – Vol. 15, No. 1-1. – pp. 409-418. – DOI 10.34670/AR.2025.53.74.043. – EDN DPAHCE.

DOI: 10.58168/Forestry2025_310-316
УДК 338.1

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛЕНОЙ» ЭКОНОМИКИ

А.А. Осипов
Соискатель кафедры мировой и национальной экономики
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация.
В статье обоснована необходимость разработки методики комплексной оценки социо-эколого-экономической устойчивости хозяйственных комплексов в условиях развития «зеленой» экономики. Предложенный подход включает идентификацию отрицательных внешних эффектов, формирование системы интегральных показателей, применение концепции жизненного цикла и многоуровневого анализа (макро-, мезо-, микроуровень). В методику интегрированы финансово-инвестиционные инструменты, сценарное моделирование, социально-институциональный и пространственный анализ, что обеспечивает полноту и адаптивность оценки. Реализация методики позволяет минимизировать экологические риски, повысить ресурсную эффективность и усилить устойчивое развитие хозяйственных комплексов.

Ключевые слова: устойчивое развитие, социо-эколого-экономическая устойчивость, хозяйственные комплексы, «зеленая» экономика, интегральные показатели, методика.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE SOCIO-ECOLOGICAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY OF ECONOMIC COMPLEXES IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF THE "GREEN" ECONOMY

A.A. Osipov
Candidate of the Department of World and National Economy,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

Abstract.
The article substantiates the need to develop a methodology for comprehensive assessment of the socio-ecological-economic sustainability of economic complexes in the context of the development of a "green" economy. The proposed approach includes the identification of negative externalities, the formation of a system of integral indicators, the application of the life cycle concept, and multi-level analysis (macro-, meso-, micro-level). The methodology integrates financial and investment instruments, scenario modeling, and social, institutional, and spatial analysis, which ensures the completeness and adaptability of the assessment. The implementation of the methodology allows minimizing environmental risks, increasing resource efficiency, and strengthening the sustainable development of economic complexes.

Keywords: sustainable development, socio-ecological-economic sustainability, economic complexes, green economy, integral indicators, methodology.

© Осипов А.А., 2025

В условиях нарастающих глобальных экологических вызовов, климатических изменений и трансформации мировой экономической системы в сторону «зеленого» развития особое значение приобретает проблема оценки устойчивости хозяйственных комплексов

Традиционные подходы, фокусирующиеся преимущественно на экономических параметрах, оказываются недостаточными, поскольку игнорируют взаимосвязь между социальными, экологическими и институциональными факторами. Современные хозяйственные комплексы выступают не только центрами экономического роста, но и основными потребителями природных ресурсов, формирующими значительные объемы экологических экстерналий. В этих условиях разработка методики комплексной оценки социо-эколого-экономической устойчивости становится важнейшей научной и практической задачей, обеспечивающей основу для принятия управленческих решений в логике «зеленой» экономики и устойчивого развития [1–3].

Методологическая основа предлагаемой методики базируется на интеграции социального, экологического и экономического измерений устойчивости в единую систему показателей и критериев. При этом акцент смещается от статического анализа к динамическому мониторингу, учитывающему жизненный цикл продукции, влияние отрицательных внешних эффектов и институциональные механизмы экологизации экономики. В рамках «зеленой» экономики хозяйственные комплексы рассматриваются как элементы социо-эколого-экономической системы, где результативность определяется не только ростом производственных показателей, но и снижением антропогенной нагрузки, качеством социальной среды и степенью адаптации к глобальным экологическим вызовам. Оценка устойчивости в таком контексте предполагает использование многоуровневого подхода – от макроэкономических инструментов государственной политики до региональных программ и корпоративных практик – что позволяет формировать комплексное представление о траекториях устойчивого развития [4–6].

Литература по оценке социо-эколого-экономической устойчивости хозяйственных комплексов в логике «зеленой» экономики демонстрирует переход от декларативных подходов к проработанным методикам измерения внешних эффектов, моделирования межсекторных взаимосвязей и институционализации «озеленения» хозяйственной деятельности. Совместное прочтение этих направлений позволяет очертить требования к методике оценки. Во-первых, необходим блок идентификации и оценки отрицательных внешних эффектов с возможностью монетизации ущерба, сценарного анализа и чувствительности к политическим инструментам [1; 4]. Во-вторых, требуется многоконтурная система показателей, отражающая экономическую продуктивность, экологическую результативность и социальные эффекты на сопоставимых шкалах с четко определенными источниками данных и периодичностью наблюдений [3; 6; 9]. В-третьих, методика должна быть уровневой: различать корпоративный, отраслевой/региональный и макрополитический уровни с их специфическими наборами метрик и пороговых значений [2; 6; 10]. В-четвертых, финансово-инвестиционный модуль оценки необходим для связки результатов с решениями о капитальных вложениях, инструментами «зеленого» финансирования и управлением климатическими рисками [11]. Наконец, социально-институциональный компонент призван фиксировать готовность акторов к «озеленению» практик, степень участия стейкхолдеров и качество управления, без чего устойчивость остается декларативной [5; 8].

Ключевым методологическим основанием выступает учет и монетизация отрицательных внешних эффектов, что задает базу для корректной интеграции экологической компоненты в экономические решения. Исследования предлагают формализацию экстерналий как измеримого ущерба и издержек (прямых и косвенных), подлежащих включению в расчеты эффективности и в механизмы ценообразования, тем самым приближая оценку устойчивости к логике полной стоимости (full cost) и предотвращая недооценку экологических потерь [1].

Второй пласт связан с институционализацией «озеленения» хозяйственной деятельности как условия устойчивого развития. Исследования подчеркивают, что управленческая логика «greening» должна быть встроена в процессы на всех стадиях

жизненного цикла – от проектирования и снабжения до эксплуатации и утилизации, что требует согласования целей, метрик и стимулов между государством, бизнесом и обществом [2].

Содержательную основу методик формируют работы, рассматривающие социо-эколого-экономическую эффективность на уровне организаций и отраслей как интегральный результат сочетания ресурсной продуктивности, снижения антропогенной нагрузки и социальной результативности (качество занятости, безопасность, вовлеченность стейкхолдеров). Показано, что измерение эффективности требует конструирования сбалансированных индикаторных панелей, где экологические метрики не подменяют экономические, а комплементарны им; при этом акцент делается на сопоставимости показателей и их операционализируемости для управленческих решений [3]. Вектор экологической политики дополняет эту рамку, задавая регуляторные фильтры, стандарты и рыночные стимулы, обеспечивающие трансляцию целей устойчивости в практики фирм и региональные стратегии [4].

Важной линией является социальное измерение «зеленой» трансформации. Уточняется взаимозависимость экономического развития и экологизации общества: экологические нормы и практики служат как ограничителем неэффективного использования природного капитала, так и источником новых рынков и компетенций; обратная связь проявляется через изменение технологических траекторий, потребительского поведения и спроса на «зеленые» компетенции [5].

Региональный уровень задает контекст и ограничения устойчивости, где релевантны модели межсекторных и межфакторных взаимосвязей. Моделирование социо-эколого-экономических связей рассматривается как способ выявления «узких мест» и точек роста устойчивости региона, включая оценку пространственной дифференциации, межотраслевых мультипликаторов и чувствительности к политическим инструментам (налоговые льготы, зелёные стандарты, инфраструктурные проекты) [6]. Практики оценки устойчивости природопользования в национальных и субнациональных контекстах показывают необходимость адаптации показателей к отраслевой и ресурсной специфике территорий, а также учет институциональной емкости регионов к реализации природоохранных мер [7].

В более общей постановке «зеленая» экономика трактуется как механизм достижения устойчивого развития за счет переконфигурации стимулов и правил игры, что требует сопряжения экологических и экономических компонентов управления – от налогово-бюджетных решений до проектного управления и стандартов отчетности [8; 9]. Это сопряжение формирует запрос на интегральные методики, соединяющие индикаторы воздействия (pressure/impact), результативности (outcome) и управленческих усилий (response).

Пространственное измерение устойчивого развития усиливает значимость инструментов территориального планирования: устойчивость трактуется как результат сочетания экологически ориентированного использования природного капитала, структурной модернизации экономики и социальных эффектов (доступность услуг, качество среды, справедливость распределения благ). Для операционализации требуются индикаторы, захватывающие как «твердые» параметры (ресурсоемкость, эмиссии, энергоэффективность), так и «мягкие» (качество управления, участие стейкхолдеров, институциональная зрелость) [10]. Финансово-экономические основания «зеленой» экономики – зелёные финансы, климатические риски, корректировка инвестиционных критериев под долгосрочную устойчивость – задают контур для встраивания оценки устойчивости в систему бюджетирования и инвестиционного анализа на уровне фирм и регионов [11].

В таблице 1 перечислены *методические аспекты оценки социо-эколого-экономической устойчивости хозяйственных комплексов* структурированы с пояснением содержания и ссылками на источники.

Таблица 1 Методические аспекты оценки социо-эколого-экономической устойчивости хозяйственных комплексов

Методический аспект	Содержание	Источники
Идентификация и оценка отрицательных внешних эффектов	Учет экологических экстерналий (загрязнение, деградация экосистем, утрата природного капитала) и их монетизация для включения в расчеты эффективности	[1]
Формирование системы интегральных показателей устойчивости	Построение индикаторных панелей, включающих экономическую продуктивность, экологическую результативность и социальные эффекты, обеспечивающих сопоставимость оценок	[3; 6]
Многоуровневый подход	Разделение оценки по уровням: макро (гос. политика), мезо (региональные и отраслевые особенности), микро (корпоративные практики)	[2; 7; 10]
Применение концепции жизненного цикла	Оценка воздействия на окружающую среду и общество на всех стадиях жизненного цикла: производство, эксплуатация, утилизация, повторное использование ресурсов	[5; 9]
Моделирование межсекторных и межфакторных взаимосвязей	Использование системно-динамических и экономико-математических моделей для анализа влияния хозяйственной деятельности на устойчивость региона	[6]
Финансово-инвестиционная интеграция	Включение «зеленых» финансов, ESG-критериев, климатических рисков и инструментов устойчивого инвестирования в процедуры оценки	[11]
Сценарный и прогнозный анализ	Разработка сценариев устойчивого развития с учетом глобальных и региональных экологических вызовов, изменений в нормативно-правовой базе и рыночной конъюнктуре	[4; 7]
Социально-институциональная оценка	Учет степени вовлеченности стейкхолдеров, качества управления, готовности общества к экологизации и институциональной зрелости	[2; 5; 8]
Пространственный аспект оценки	Анализ устойчивости территорий с учетом пространственной дифференциации, равномерности распределения ресурсов и формирования комфортной среды	[10]
Динамический мониторинг и адаптивность методики	Регулярное обновление процедур, индикаторов и весов с учетом изменений «зеленой» экономики и появления новых технологий	[9]

Источник: составлено автором

Важное значение имеет многоуровневый подход, обеспечивающий согласованность решений на макро-, мезо- и микроуровнях, а также пространственный и институциональный контекст устойчивости. Включение сценарного анализа, моделирования межсекторных связей и финансово-инвестиционной интеграции позволяет расширить аналитические возможности методики, а динамический мониторинг и адаптивность обеспечивают ее актуальность в условиях трансформации «зеленой» экономики.

Предлагаемая *методика оценки социо-эколого-экономической устойчивости хозяйственных комплексов в условиях развития «зеленой» экономики* может быть выстроена как поэтапный алгоритм:

1. Постановка цели и определение объекта оценки.

– формулирование целей устойчивого развития хозяйственного комплекса;

– выбор объекта (регион, отрасль, предприятие или проект) и определение временного горизонта оценки.

2. Идентификация отрицательных внешних эффектов и факторов риска.

– выявление основных экологических экстерналий (выбросы, отходы, деградация ресурсов);

– оценка социально-экономических последствий (здоровье населения, снижение продуктивности труда, нагрузка на инфраструктуру);

– количественная и при возможности монетарная оценка ущерба.

3. Формирование системы индикаторов.

– подбор показателей по трем блокам:

– экономическая результативность (производительность, энергоемкость, рентабельность);

– экологическая эффективность (уровень выбросов, утилизация отходов, ресурсосбережение, углеродный след);

– социальные эффекты (занятость, качество жизни, вовлеченность стейкхолдеров);

– установление источников данных и единиц измерения.

4. Нормирование и агрегирование показателей.

– приведение показателей к сопоставимому масштабу (нормализация, стандартизация);

– экспертное или энтропийное взвешивание индикаторов;

– построение интегрального индекса устойчивости с разложением на частные подиндексы.

5. Многоуровневый анализ.

– макроуровень: оценка влияния государственной политики и «зеленого» регулирования;

– мезоуровень: учет региональной и отраслевой специфики;

– микроуровень: анализ корпоративных и проектных практик.

6. Моделирование и сценарный анализ.

– построение моделей межсекторных и межфакторных взаимосвязей;

– разработка сценариев устойчивого и инерционного развития;

– оценка чувствительности к изменениям нормативной базы, рынков и климатических рисков.

7. Финансово-инвестиционная оценка.

– анализ использования инструментов «зеленого» финансирования и ESG-критериев;

– оценка влияния устойчивости на инвестиционную привлекательность хозяйственного комплекса.

8. Социально-институциональный аудит.

– оценка качества управления, степени участия стейкхолдеров, институциональной зрелости;

– учет социальных факторов: восприятие экологизации обществом, доверие, поддержка со стороны населения.

9. Пространственный анализ.

– оценка устойчивости территорий с учетом пространственной дифференциации и доступности ресурсов;

– выявление региональных «узких мест» и точек роста.

10. Динамический мониторинг и адаптивное управление.

– организация системы регулярного мониторинга показателей;

– пересмотр весов и индикаторов с учетом новых технологий и требований «зеленой» экономики;

– формирование рекомендаций для стратегического управления.

Представленная методика основана на идентификации и учёте отрицательных внешних эффектов, формировании интегральной системы индикаторов, применении концепции жизненного цикла и многоуровневом подходе, включающем макро-, мезо– и микроуровень анализа. Включение финансово-инвестиционных инструментов, социально-институциональной оценки и пространственного анализа позволяет обеспечить полноту и объективность результатов, а сценарное моделирование и динамический мониторинг – адаптивность методики к меняющимся условиям. Таким образом, предложенный подход создает основу для обоснования стратегических управленческих решений, направленных на минимизацию экологических рисков, повышение ресурсной эффективности и укрепление социальной устойчивости хозяйственных комплексов. Его практическая реализация способствует интеграции принципов «зеленой» экономики в систему управления, формированию условий для долгосрочного устойчивого развития и повышению конкурентоспособности хозяйственных комплексов, регионов и отраслей.

Список литературы

1. Филипцов, А. М. Методология оценки отрицательных внешних эффектов в экологической сфере / А. М. Филипцов, М. А. Лагун // Журнал Белорусского государственного университета. Экономика. – 2024. – № 2. – С. 13-21. – EDN UAQLUZ.

2. Bikmetov, E. Yu. Managing the greening of socio-economic activities as a condition for sustainable development / E. Yu. Bikmetov, L. R. Amirkhanova // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2023. – No. 4. – P. 198-208. – DOI 10.15593/2224-9354/2023.4.14. – EDN QFSRGS.

3. Грузневич, Е. С. Социо-эколого-экономическая эффективность деятельности промышленных организаций в контексте императива устойчивого развития / Е. С. Грузневич // Вестник Белорусского государственного экономического университета. – 2022. – № 3(152). – С. 49-58. – EDN JBGMYS.

4. Путихин, Ю. Е. Вопросы совершенствования экологической политики в аспекте развития «зеленая» экономика // Экономические науки. – 2022. – No. 212. – DOI 10.14451/1.212.191. – EDN STSYRY.

5. Хомякова, М. А. Зависимость экономики и экологизации общества / М. А. Хомякова // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2024. – № 1(20). – С. 58-63. – EDN CNXWRN.

6. Боркова, Е. А. Моделирование социо-эколого-экономических взаимосвязей как способ оценки устойчивого развития региона / Е. А. Боркова // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2022. – № 3(53). – С. 24-30. – EDN KXXXAB.

7. Талантбеков, Т. Т. Методология социально-экономической оценки эффективности и устойчивости природопользования Кыргызской Республики / Т. Т. Талантбеков, А. Ы. Кунназаров, З. А. Осмонов // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2023. – № 9. – С. 131-134. – DOI 10.26104/NNTIK.2023.22.39.029. – EDN HAEIAF.

8. Шнайдер, В. В. Роль зеленой экономики в достижении устойчивого развития / В. В. Шнайдер // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2023. – Т. 12, № 2(43). – С. 71-73. – DOI 10.57145/27128482_2023_12_02_15. – EDN OMQKRB.

9. Economic and environmental component in the field of sustainable development management // Quality - Access to Success. – 2024. – Vol. 25, No. 201. – DOI 10.47750/qas/25.201.02. – EDN KTNWSI.

10. Устойчивое развитие территорий в контексте экологически ориентированной зеленой экономики / И. В. Чуксин, А. В. Фомина, М. А. Смирнова, А. А. Рассказова //

Московский экономический журнал. – 2022. – Т. 7, № 9. – DOI 10.55186/2413046X_2022_7_9_554. – EDN GPMHQA.

11. Зацарная, Н. А. Финансово-экономические основы «зеленой» экономики как базиса устойчивого развития / Н. А. Зацарная // Экономические науки. – 2023. – № 224. – С. 253-260. – DOI 10.14451/1.224.253. – EDN DGCQLU.

References

1. Filiptsov, A.M. Methodology for assessing negative external effects in the environmental sphere / A.M. Filiptsov, M. A. Lagun // Journal of the Belarusian State University. Economy. – 2024. – No. 2. – pp. 13-21. – EDN UAQLUZ.

2. Bikmetov, E. Yu. Managing the greening of socio-economic activities as a condition for sustainable development / E. Yu. Bikmetov, L. R. Amirkhanova // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Socio-economic sciences. – 2023. – No. 4. – P. 198-208. – DOI 10.15593/2224-9354/2023.4.14. – EDN QFSRGS.

3. Gruznevich, E. S. Socio-ecological and economic efficiency of industrial organizations in the context of the imperative of sustainable development / E. S. Gruznevich // Bulletin of the Belarusian State University of Economics. – 2022. – № 3(152). – Pp. 49-58. – EDN JBGMYS.

4. Putikhin, Yu. E. Issues of improving environmental policy in the aspect of the development of the "green" economy // Economic sciences. – 2022. – No. 212. – DOI 10.14451/1.212.191. – EDN STSYRY.

5. Khomyakova, M. A. The dependence of economics and the greening of society / M. A. Khomyakova // Scientific and Technical Bulletin: Technical systems in agriculture. – 2024. – № 1(20). – Pp. 58-63. – EDN CNXWRN.

6. Borkova, E. A. Modeling socio-ecological and economic relationships as a way to assess the sustainable development of the region / E. A. Borkova // Theory and practice of the service: economics, social sphere, technology. – 2022. – № 3(53). – Pp. 24-30. – EDN KXXXAB.

7. Talantbekov, T. T. Methodology of socio-economic assessment of efficiency and sustainability of environmental management of the Kyrgyz Republic / T. T. Talantbekov, A. Y. Kunnazarov, Z. A. Osmonov // Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan. – 2023. – No. 9. – pp. 131-134. – DOI 10.26104/NNTIK.2023.22.39.029. – EDN HAEIAF.

8. Schneider, V. V. The role of the green economy in achieving sustainable development / V. V. Schneider // Azimuth of scientific research: economics and management. – 2023. – Vol. 12, No. 2(43). – pp. 71-73. – DOI 10.57145/27128482_2023_12_02_15. – EDN OMQKRB.

9. Economic and environmental component in the field of sustainable development management // Quality - Access to Success. – 2024. – Vol. 25, No. 201. – DOI 10.47750/qas/25.201.02. – EDN KTNWSI.

10. Sustainable development of territories in the context of an ecologically oriented green economy / I. V. Chuksin, A.V. Fomina, M. A. Smirnova, A. A. Rasskazova // Moscow Economic Journal. – 2022. – Vol. 7, No. 9. – DOI 10.55186/2413046X_2022_7_9_554. – EDN GPMHQA.

11. Zatsarnaya, N. A. Financial and economic foundations of the "green" economy as a basis for sustainable development / N. A. Zatsarnaya // Economic sciences. – 2023. – No. 224. – pp. 253-260. – DOI 10.14451/1.224.253. – EDN DGCQLU.

DOI: 10.58168/Forestry2025_317-322
УДК 630 181.2:536.7

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДРЕВЕСНОГО РОСТА

А.Е. Писарев
Аспирант,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Работа посвящена моделированию древесного роста для оптимизацииработы секвестрирующих хозяйств и лесозаготовительных предприятий. Новизна работы заключается в применении термодинамических принципов к вопросу роста деревьев.Модель интересна для расчета инвестиционных затрат климатических проектов.

Ключевые слова: моделирование,лесоразведение,секвестрационный потенциал, экономика природопользования.

THERMODYNAMIC MODEL OF TREE GROWTH

A.E. Pisarev

Postgraduate student,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.
This paper focuses on modeling tree growth to optimize the performance of sequestration farms and logging companies. The novelty of this paper lies in its application of thermodynamic principles to tree growth. The model is useful for calculating investment costs for climate projects.

Keywords: modeling, afforestation, sequestration potential, environmental economics.

На сегодняшний день особенную важность приобретает экология и климат в зеленой политике развитых государств. Когда речь заходит о климате, то очевидной становиться проблема углерода в атмосфере. Установлено, что углерод в виде углекислого газа (CO2), массово выбрасываемый как результат человеческой деятельности, поглощает излучаемую Землей энергию, что в свою очередь приводит к глобальному потеплению. Помимо потепления, углекислый газ в атмосфере оказывает ряд негативных воздействий на человеческий организм.Развитые государства принимают меры по снижению выбросов и количества углекислого газа в атмосфере [1]-[3]. Такими мерами являются:

1. Налоги на выбросы углекислого газа (в России не планируется введение данного налога до 2028 года);
2. Ужесточение норм и законов, связанных с выбросами, влекущие за собой технические решения, например каталитические преобразователи на автомобилях и «продвинутые» системы фильтрации;
3. Технические и естественные методы секвестрации углерода.

Одним из широко обсуждаемых путей секвестрации углерода является введение специальных древесных питомников. Если целью является максимизация секвестрации, то подход должен быть соответствующим – максимизация массы. Подход максимизации массы древесного материала также востребован в экономике, на лесозаготовке, строительстве, быту и особенно в промышленной химии (переработка целлюлозы), где габариты, форма и «качество» дерева не играют значительной роли.

© Писарев А. Е., 2025

Биологические системы, в частности организмы, - сложные системы, описание работы которых - трудоёмкий процесс. Живые организмы являются сложносочиненными системами, куда сложнее ядерного реактора и описание этих систем в явном виде зачастую отсутствуют.Современные работы по росту деревьев опираются на модели, связывающие их линейные размеры, анаболический уровень и скорость катаболизма[4]-[11]. Рост дерева – длительный процесс, что накладывает временные ограничения на проведения исследований.Целью данной работы является создание инструмента для нахождения барьеров роста деревьев и дальнейших исследований в сфере биологии.

В данной статье приведем подход для описания процесса роста деревьев, опирающийся на законы термодинамики. Деревья, бактерии, кошек, собак, машины, самолеты, горы, звезды и всё, что нас окружает, объединяет Энергия, закон сохранения которой универсален для всего сущего. Энергетические потоки дерева можно представить в следующем виде (без учёта корневого обмена):

1. Пополнение энергии получаемой в результате фотосинтеза
2. Затраты энергии необходимой на приращение массы дерева
3. Затраты энергии необходимой для поддержания жизненных процессов
4. Затраты энергии излучения с поверхности дерева

Построим модель оборота энергии (термодинамическую модель) в дереве в следующем виде:

$$\frac{dE}{dt} = W_p - W_{ms} - W_{ml} - W_{\text{окр}} - W_{sust}, \quad (1)$$

где E – энергия системы, t–время, W_p– мощность фотосинтеза, W_{ms} – мощность изменения древесной массы, W_{ml}-мощность изменения лиственной массы,$W_{\text{окр}}$– мощность обмена с окружающей средой за счет теплового излучения и конвективного теплообмена с поверхности дерева (зависит от площади древесной и лиственной массы, а также температуры дерева и окружающей температуры), W_{sust} – мощность средств к существованию (от англ. sustenance).

В соответствии с законом сохранения энергии уравнение (1) примет вид:

$$W_p - W_{ms} - W_{ml} - W_{\text{окр}} - W_{sust} = 0.$$

Отсюда выразим приращение древесной массы

$$W_{ms} = W_p - W_{ml} - W_{\text{окр}} - W_{sust}.$$

Мощности изменения древесной и лиственной массы можно записать в виде

$$W_{ms} = \frac{dE_{ms}}{dt},$$
$$W_{ml} = \frac{dE_{ml}}{dt},$$

где E_{ms} и E_{ml} – энергии древесной массы и лиственной массы соответственно. Эти энергии связанны с массой следующим образом

$$E_{ms} = H_{ms} * m_s * h_s,$$
$$E_{ml} = H_{ml} * m_l * h_l,$$

где H_{ms} – энтальпия (энергия химической связи) древесной массы, состав которой известен (70-80% холоцеллюлоза, 20-30% лигнин), m_s – древесная масса, h_s – коэффициент преобразования энергии (аналог КПД,зависит от внешних факторов и варьируется от 0 до 1, но в целом константа),H_{ms} – константа, m_s – масса. Для лиственной массы обозначения эквивалентны.

Тогда приращение древесной массы выражается уравнением

$$H_{ms}h_s\frac{dm_s}{dt} = W_p - H_{ml}h_l\frac{dm_l}{dt} - W_{\text{окр}} - W_{sust}. \quad (2)$$

Мощность средств к существованию также разделима на две составляющие

$$W_{sust} = W_{ss} + W_{sl},$$

где W_{ss}иW_{sl} - мощность средств к существованию древесной массы и лиственной соответственно.

Разделение древесной и лиственной массы в модели обусловлено тем, что в зимний период (для лиственных деревьев) затрачивать энергию на поддержание листвы не является необходимым, по наступлении весны необходимо затратить энергию на регенерацию листвы.

Мощность средств к существованию является функцией, зависящей от массы дерева и температуры

$$W_{sust} = f(m_s, m_l, T).$$

Определение данной функции будет произведено в будущих работах. Данную функцию можно экспериментально вывести, собрав статистические данные по переменным входящим в уравнение(2).

Мощность обмена с окружающей средой при идеализированных условиях можно не учитывать, однако реальная жизнь не идеальна, часть энергии переходит в тепло, которое без теплообмена с окружающей средой сожгло бы дерево. Уравнение (2) без теплопотерь при коэффициентах преобразовании энергии равных 1 будет иметь вид

$$H_{ms}\frac{dm_s}{dt} = W_p - H_{ml}\frac{dm_l}{dt} - W_{sust.} \quad (3)$$

Для случая отсутствия сезонности и зимы можно соединить древесную массу с лиственной и получить

$$H_{mt}\frac{dm_t}{dt} = W_p - W_{sust}, \quad (4)$$

где H_{mt} и m_t– энтальпия дерева и масса дерева соответственно, $W_{sust} = f(m_t)$.

Энергия, получаемая в результате фотосинтеза (W_p) зависит от площади лиственного покрова S_l, коэффициента преобразования энергии h_p и эффективной инсоляции q_{in}:

$$W_p = q_{in} * S_l * h_p$$

Площадь листвы прямо пропорциональна массе листвы

$$m_l = S_l * d_l * \rho_l,$$

где d_l – толщина листа, ρ_l – плотность листа. Тогда:

$$W_p = \frac{q_{in} * m_l * h_p}{d_l * \rho_l}$$

Будем считать, что масса листвы прямо пропорционально массе дерева, а именно $m_l = k * m_t$, примем $h_p = 1$ ввиду упрощения, тогда

$$H_{mt}\frac{dm_t}{dt} = \frac{q_{in}*k*m_t}{d_l*\rho_l} - W_{sust}.$$

Решение данного уравнения будет представлять собой характерную экспоненциальную зависимость, и в зависимости от значения W_{sust} будет изменятся график экспоненты. В случае прямой зависимости W_{sust} от массы дерева m_t ($W_{sust} = C * m_t$) решение данного уравнения примет вид:

$$m_t = m_{t0}\exp\left(\frac{\frac{q_{in}*k}{d_l*\rho_l} - C}{H_{mt}}t\right), \quad (5)$$

где m_{t0}-масса в начальный момент времени, C- коэффициент пропорциональности для W_{sust} и m_t.

В случае непрямой пропорциональности W_{sust} массе дерева решение примет другой вид. Если скорость изменения $W_{sust}(m_t)$ больше, чем $W_p(m_t)$, то в определенный момент времени рост дерева остановится либо выйдет на плато. Если скорость изменения $W_{sust}(m_t)$ меньше, чем $W_p(m_t)$, то дерево растет неограниченно. При сравнении с другими моделями и эмпирическими данными мы можем как раз таки наблюдать характерное поведения функции роста(рисунок 1 и 2):

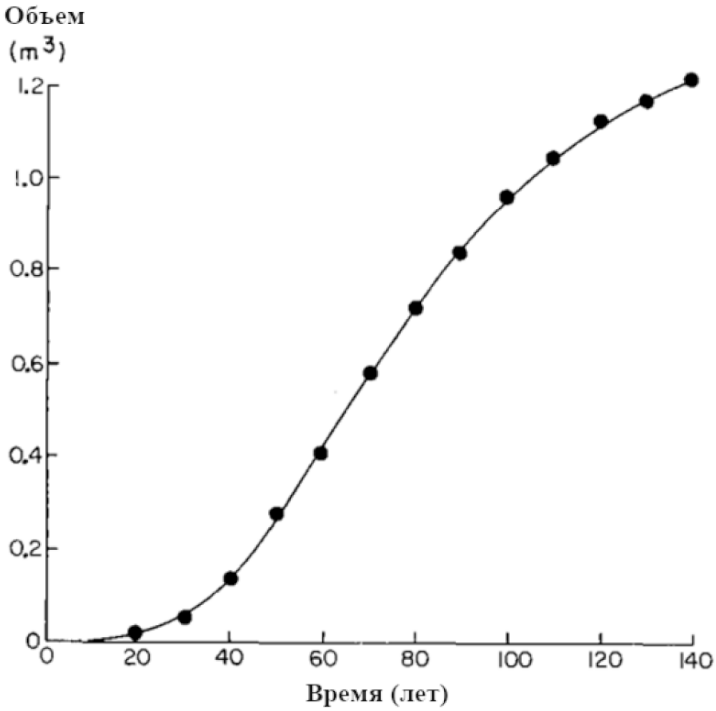


Рисунок 1 - Подогнанная кривая роста объема ствола ели[10].

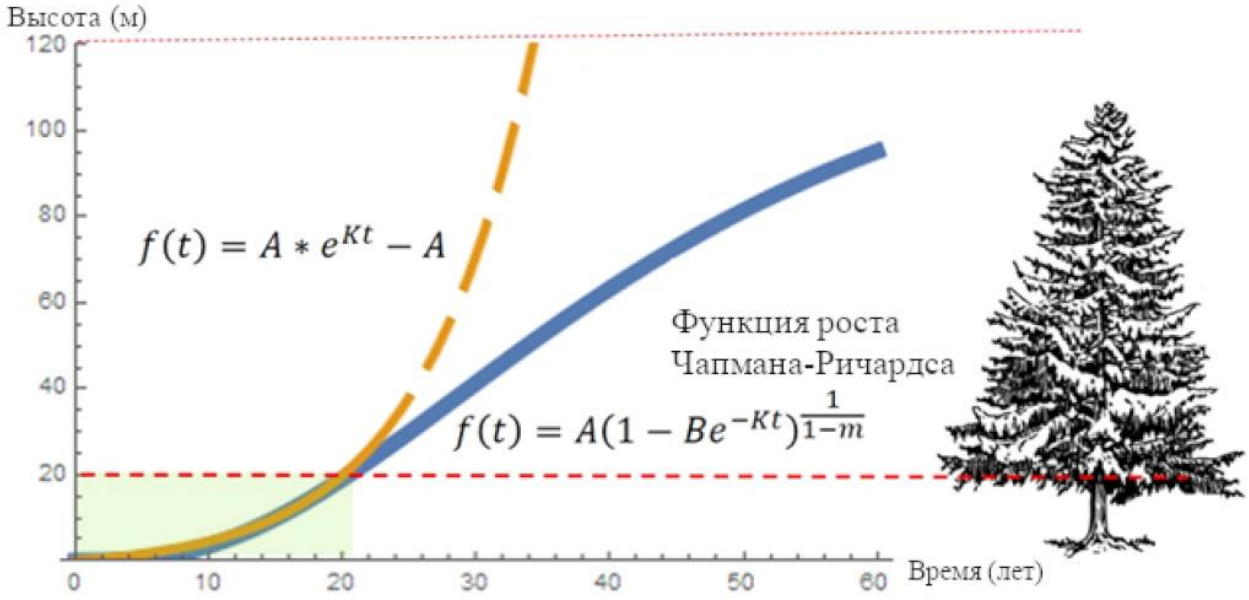


Рисунок 2 - Концептуальная иллюстрация моделей траектории роста деревьев [4]

Рассмотрим некоторые частные случаиуравнения (2), режимы роста. В зимний период, в силу отсутствия листвы, $W_p = 0$, $W_{sl} = 0$ и$H_{ml} h_l \frac{dm_l}{dt} = 0$, тогда самоподдержание дерева происходит за счёт накопленной массы (в виде питательных веществ), масса уменьшается

$$H_{ms} \frac{dm_s}{dt} = -W_{ss}.$$

В момент пробуждения дерева, для регенерации листвы требуется энергия, эта энергия, в соответствии с уравнением (3) преобразуется из массы дерева

$$H_{ms} \frac{dm_s}{dt} = -H_{ml} \frac{dm_l}{dt}.$$

Ночью, когда фотосинтез не происходит, содержание дерева происходит за счёт массы

$$H_{ms} \frac{dm_s}{dt} = -H_{ml} \frac{dm_l}{dt} - W_{sust}.$$

При работе дерева на «полную мощность», когда $W_p \geq -H_{ml}\frac{dm_l}{dt} - W_{sust}$ происходит увеличение массы дерева и рост.

Возвращаясь к вопросу максимизации массы дерева, можно заключить, чтоопределение максимального роста «замыкается» на функции мощности средств к существованию. Когда W_{sust} прямо пропорциональна m_t, то рост постоянен, и максимума рост не достигает, в случае, когда W_{sust} зависит в большей степени от m_t, а W_p – в меньшей степени от m_t, может случится замедление роста, и момент замедления данного роста является моментом рубки дерева.

Таким образом, мы положили основу для дальнейшего изучения и оптимизации древесного роста. В дальнейших работах будут подробно рассмотрены члены уравнения (2) и их влияние на дерево. Помимо этого, будут более подробно рассмотрены режимы жизнедеятельности дерева.

Список литературы

1. Alex Mengden / Carbon Taxes in Europe, 2024 // June 18, 2024
2. Priyadarshi R. Shukla Jim Skea / Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change Summary for Policymakers // © 2022 Intergovernmental Panel on Climate Change
3. Pierre Friedlingstein, Michael O'Sullivan / Global Carbon Budget 2022 // Earth System Science Data Volume 14, issue 11
4. Yang Liu & Yousry A. El-Kassaby / Evapotranspiration and favorable growing degree-days are key to tree height growth and ecosystem functioning: Meta-analyses of Pacific Northwest historical data // Scientific Reports | (2018) 8:8228 | DOI:10.1038/s41598-018-26681-1
5. Xavier Le Rouxa, , André Lacointea / Carbon-based models of individual tree growth: A critical appraisal // Ann. For. Sci. 58 (2001) 469–506 469 © INRA, EDP Sciences, 2001
6. Reffye, Ph. de, Fourcaud, Th., Blaise, F., Barthelemy, D. & Houllier, F. 1997. / A functional model of tree growth and tree architecture. // Silva Fennica 31(3): 297-311.
7. Michael G. Ryan and Barbara J. Yoder / Hydraulic Limits to Tree Height and Tree Growth // BioScience Vol. 47, No. 4 (Apr., 1997), pp. 235-242
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations / https://www.fao.org/4/ad228e/AD228E02.htm,https://www.fao.org/4/ac121e/ac121e08.htm // датапосещения 20.09.2025
9. Jennifer Franklin, David Merckerhttps://plantsciences.tennessee.edu/wp-content/uploads/sites/25/2021/11/Tree-growth-characterisitics-UT-Publication-W227.pdf
10. L. V. PIENAAR K. J. TURNBULL / The Chapman-Richards Generalization of Von Bertalanffy's Growth Model for Basal Area Growth and Yield in Even Aged Stands // Forest Science volume 19, number 1, 1973
11. THOMAS HTCKLER, BENJAMIN SMITH, / USING A GENERALIZED VEGETATION MODEL TO SIMULATE VEGETATION DYNAMICS IN NORTHEASTERN USA // Ecology, 85(2). 2004, pp. 519-530, 2004 by the Ecological Society of America

References

1. Alex Mengden / Carbon Taxes in Europe, 2024 // June 18, 2024
2. Priyadarshi R. Shukla Jim Skea / Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change Summary for Policymakers // © 2022 Intergovernmental Panel on Climate Change
3. Pierre Friedlingstein, Michael O'Sullivan / Global Carbon Budget 2022 // Earth System Science Data Volume 14, issue 11
4. Yang Liu & Yousry A. El-Kassaby / Evapotranspiration and favorable growing degree-days are key to tree height growth and ecosystem functioning: Meta-analyses of Pacific Northwest historical data // Scientific Reports | (2018) 8:8228 | DOI:10.1038/s41598-018-26681-1
5. Xavier Le Rouxa, , André Lacointea / Carbon-based models of individual tree growth: A critical appraisal // Ann. For. Sci. 58 (2001) 469–506 469 © INRA, EDP Sciences, 2001

6. Reffye, Ph. de, Fourcaud, Th., Blaise, F., Barthelemy, D. & Houllier, F. 1997. / A functional model of tree growth and tree architecture. // Silva Fennica 31(3): 297-311.

7. Michael G. Ryan and Barbara J. Yoder / Hydraulic Limits to Tree Height and Tree Growth // BioScience Vol. 47, No. 4 (Apr., 1997), pp. 235-242

8. Food and Agriculture Organization of the United Nations / https://www.fao.org/4/ad228e/AD228E02.htm,https://www.fao.org/4/ac121e/ac121e08.htm // date of visit 20.09.2025

9. Jennifer Franklin, David Merckerhttps://plantsciences.tennessee.edu/wp-content/uploads/sites/25/2021/11/Tree-growth-characterisitics-UT-Publication-W227.pdf

10. L. V. PIENAAR K. J. TURNBULL / The Chapman-Richards Generalization of Von Bertalanffy's Growth Model for Basal Area Growth and Yield in Even Aged Stands // Forest Science volume 19, number 1, 1973

11. THOMAS HTCKLER, BENJAMIN SMITH, / USING A GENERALIZED VEGETATION MODEL TO SIMULATE VEGETATION DYNAMICS IN NORTHEASTERN USA // Ecology, 85(2). 2004, pp. 519-530, 2004 bytheEcological Society of America

DOI: 10.58168/Forestry2025_323-328
УДК 630 :502.131.1:338.2

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ

Писарева Д.А., Бекетова Д.Ю.

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация.

Лесные экосистемы играют важную роль в обеспечении климатических, биологических и социально-экономических функций. В период 2020–2025 годов лесное хозяйство столкнулось с усилившимся воздействием климатических экстремальных явлений, таких как масштабные пожары, изменением рынка биоматериалов и увеличением требований биоэкономики, а также сохранения биоразнообразия. В данной работе проведен анализ актуальных рисков, рассмотрены технологические и институциональные подходы к их преодолению, предложен комплексный стратегический план для устойчивого развития лесного хозяйства на период до 2030–2050 годов, с акцентом на промежуточные задачи на 2025 год. Выводы исследования включают следующие приоритеты: адаптация и восстановление экосистем в сочетании с переходом к низкоуглеродной экономике; внедрение цифровых технологий и инноваций в управление лесными ресурсами как ключевые механизмы повышения устойчивости; достижение баланса между интенсивным использованием ресурсов в целях биоэкономики и сохранением экосистемных услуг.

Ключевые слова: устойчивое развитие, лесной комплекс, биоэкономика, пожары, цифровизация, экосистемные услуги.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE FOREST SECTOR AMID GLOBAL CHALLENGES

Pisareva D.A., Beketova D.Yu.
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.

Forest ecosystems are vital for maintaining climatic stability, biodiversity, and socio-economic well-being. Between 2020 and 2025, the forestry sector has experienced heightened exposure to climate-related extremes, including large-scale wildfires, shifts in the biomaterials market, and increasing demands associated with the bioeconomy, alongside the imperative of biodiversity conservation. This paper provides a comprehensive analysis of contemporary risks, evaluates technological and institutional strategies to mitigate them, and proposes an integrated strategic framework for the sustainable development of forestry through 2030–2050, with particular emphasis on intermediate targets for 2025. The study identifies key priorities: ecosystem adaptation and restoration in conjunction with a transition to a low-carbon economy; adoption of digital technologies and innovative management practices as essential mechanisms for enhancing resilience; and achieving a sustainable balance between resource-intensive bioeconomic activities and the preservation of ecosystem services.

© Писарева Д. А., Бекетова Д. Ю., 2025

Keywords: sustainable development, forest sector, bioeconomy, wildfires, digitalization, ecosystem services.

Леса одновременно являются хранилищем углерода, источником древесных и недревесных ресурсов, опорой биологического разнообразия и основой средств к существованию миллионов людей. Однако в начале 2020-х годов ряд глобальных тенденций (ускоряющееся потепление, учащение экстремальных погодных явлений, усиление масштабов и последствий лесных пожаров, экономические запросы на биопродукцию и политические инициативы по восстановлению лесов) резко повысили неопределённость для традиционных моделей управления лесами. Эти факторы требуют пересмотра как стратегий сохранения, так и моделей использования лесных ресурсов (рис.1).

Рисунок 1. Состояние и основные факторы риска

Участившиеся из-за климатических изменений пожары, вместе с ростом территорий, используемых для сельского хозяйства, незаконными лесозаготовками и недостаточным контролем, формируют сложные угрозы исчезновения лесных массивов, в особенности в зонах тропиков и севера.

Программы восстановления лесов (например, федеральные инициативы на 2025 год) свидетельствуют о масштабных усилиях по восстановлению, однако их эффективность зависит от обеспечения качественного посадочного материала, применения адаптивных подходов, проведения мониторинга и наличия длительного финансирования. При глобальной координации строгая защита лесов, широкое финансирование их восстановления, внедрение агролесоводческих систем и использование спутниковых данных позволят значительно снизить потери лесов к 2030 году, стабилизировать углеродный баланс к 2040 году и усилить роль лесов в сокращении выбросов к 2050 году. Этот сценарий поддерживается международными финансовыми механизмами и целями ООН.

Ограниченное внедрение охранных и восстановительных мероприятий, вызванное дефицитом бюджета и слабым взаимодействием с аграрной отраслью, обеспечивает отдельные позитивные результаты, но не меняет общую тенденцию к ухудшению.

При сохранении существующих факторов влияния в совокупности с увеличением частоты пожаров, аномальных природных катаклизмов и организационной незрелостью, мы столкнемся с обширным сокращением лесных массивов, обеднением экосистемных функций и ростом негативного воздействия на климат.

Интегрированное управление рисками (ИУР) фокусируется на заблаговременных действиях по предотвращению лесных пожаров, включая проектирование ландшафта, контроль над горючими материалами и создание огнестойких участков, а также на адаптационных стратегиях, в том числе на выборе устойчивых видов растений и оптимизации

их возрастного состава. Первостепенное значение придаётся региональному планированию и международному взаимодействию, что особенно актуально при координации трансграничных мероприятий по борьбе с пожарами и вредителями.

Цифровые технологии существенно повышают эффективность ИУР за счёт использования спутниковых систем наблюдения, датчиков влажности, метеорологических станций и алгоритмов машинного обучения для выявления потенциально опасных зон, что способствует более оперативному реагированию и улучшению качества планирования.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН акцентирует внимание на возможностях цифровых инноваций в модернизации лесного хозяйства и расширении доступа к информации для владельцев и управляющих лесами.

В дополнение к превентивным действиям, Интегрированное Управление Рисками (IRM) использует решения, основанные на природе. Это предусматривает регенерацию естественных биоценозов и применение природных механизмов для ослабления последствий пожаров и других негативных воздействий. Используя эти стратегии, IRM стремится усилить стабильность лесных экосистем и поддерживать разумные методы ведения лесного хозяйства.

Ключевые задачи включают в себя восстановление поврежденных лесных участков, формирование разнообразных и жизнеспособных насаждений, а также восстановление водных режимов территории. Эти мероприятия одновременно содействуют увеличению устойчивости, усилению поглощения углерода и сохранению видового разнообразия. Для их реализации необходимо стабильное финансирование и создание систем компенсации за экологические услуги.

Стабильность каналов поставок и подтверждение соответствия стандартам являются основными компонентами развития биоэкономики. Установление жестких требований к каналам поставок, создание систем сертификации и предоставление материальных стимулов производителям способствуют распространению экологически безопасных методов. Контроль за спросом на сертифицированную древесину уменьшает деструктивное воздействие на нетронутые леса.

Финансирование и применение инновационных инструментов играют важную роль в развитии устойчивого лесного сектора. Среди ключевых механизмов можно выделить государственные инвестиции, государственно-частные партнерства, зеленые облигации и выплаты за предоставление экосистемных услуг. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН, а также другие международные организации обращают внимание на необходимость адаптации финансовых решений к специфическим потребностям мелких лесовладельцев и локальных сообществ.

Методы исследования в данном научном анализе базируются на междисциплинарном подходе, охватывающем экологические, социально-экономические, институциональные и технологические аспекты, влияющие на устойчивость лесных экосистем. Такой подход обеспечивает всестороннюю оценку состояния лесных ресурсов и формирование стратегий для повышения их устойчивости. Кроме основного подхода, применялись дополнительные методики. Аналитический метод позволил систематизировать и критически осмыслить современные данные и стратегии в сфере управления лесами.

Для сравнения подходов к управлению лесами в различных регионах использовался сравнительный метод. Исследование охватывало Европу, Северную Америку и Россию, выявляя различия в институциональных структурах, законодательной базе, политике и степени вовлечения бизнеса. Это позволило определить как успешные практики, такие как многоуровневая система мониторинга лесных пожаров в Канаде, так и ключевые проблемы, например, нехватку финансирования программ лесовосстановления в России.

Статистический метод обеспечил изучение динамики лесных пожаров и других экстремальных явлений в 2023–2024 годах с использованием данных спутниковых систем Copernicus и CAMS. Этот анализ показал изменения в масштабах и частоте пожаров, их влияние на выбросы парниковых газов, а также выявил такие тенденции, как увеличение

интенсивности лесных пожаров, рост продолжительности пожароопасного сезона и изменения уязвимости экосистем в разных регионах.

Системный подход помог объединить результаты анализа в интегрированную модель, что позволило выявить сложные взаимосвязи между экологическими изменениями (например, изменение климата и потеря биоразнообразия), экономическими факторами (увеличение спроса на древесину и развитие биоэкономики), институциональными ограничениями (такими как законодательные барьеры и нехватка кадров) и технологическими инновациями (цифровизация данных и мониторинг). Применение системного мышления открывает возможность рассматривать управление лесами через призму устойчивого развития, принимая во внимание международные обязательства, включая Парижское соглашение и цели ООН.

Современный лесной сектор сталкивается с целым рядом вызовов, препятствующих его устойчивому развитию. Климатические изменения занимают центральное место среди этих проблем, проявляясь через рост частоты и силы экстремальных погодных явлений: засухи, аномальная жара, ураганы. Лесные пожары 2023–2024 годов нанесли значительный экономический ущерб и усугубили климатические риски из-за увеличения выбросов углекислого газа.

Вторая критическая проблема связана с сокращением биоразнообразия. Интенсивная вырубка лесов, фрагментация местообитаний, распространение инвазивных видов и изменения гидрологического режима снижают восстановительные способности экосистем. В ряде регионов численность редких видов стремительно уменьшается, что ставит под угрозу ключевые экологические функции.

Третьим вызовом является рост спроса на лесные ресурсы в рамках концепции биоэкономики. Древесина становится популярной альтернативой энергоемким материалам, как цементу и пластику. Однако увеличение потребления создает конфликт между стремлением к «зеленому росту» и необходимостью сохранить природный капитал.

Дополнительным препятствием являются институциональные факторы. В ряде стран ограничения связаны с недостаточной цифровизацией процедур мониторинга, ограниченным финансированием восстановительных проектов, слабой интеграцией экосистемных услуг в экономические механизмы государственной политики и нехваткой квалифицированного персонала. Такая ситуация особенно характерна для развивающихся регионов.

Цифровизация и инновации становятся ключевыми инструментами для прогнозирования и оценки рисков. Применение спутниковых систем наблюдения, таких как Copernicus и NASA FIRMS, а также сенсорных сетей и алгоритмов искусственного интеллекта позволяет создавать интеллектуальные системы мониторинга, снижать затраты и ускорять реакцию на угрозы.

Природоориентированные решения, такие как восстановление деградированных территорий, создание смешанных лесных культур и поддержание естественного гидрологического режима болот и пойм, создают естественные барьеры против пожаров и деградации. Сертификация лесной продукции по стандартам FSC и PEFC, а также внедрение цифровой маркировки древесины повышают прозрачность цепочек поставок и снижают риски незаконной заготовки.

Анализ выявил, что одной из ключевых проблем современности становится растущая уязвимость лесных экосистем перед климатическими изменениями. Лесные пожары приобретают характер не только экологической, но и социальной угрозы, нанося ущерб экономике, здоровью населения и инфраструктуре. В связи с этим первостепенное внимание должно быть уделено мерам профилактики и адаптации, способным минимизировать затраты на ликвидацию последствий.

Цифровизация также становится важным направлением развития. Современные системы мониторинга позволяют получать данные в реальном времени и прогнозировать потенциальные риски. Интеграция подобных технологий в национальные управленческие процессы существенно повышает эффективность принятия решений. Популяризация биоэкономики открывает новые возможности для устойчивого развития, но одновременно

усиливает нагрузку на лесные ресурсы. В условиях отсутствия надёжных систем сертификации и контроля возникает угроза нарушения экологического баланса. Особое место занимает финансирование. Программы по восстановлению лесов и внедрению природоохранных технологий требуют значительных долгосрочных инвестиций. На международной арене всё чаще применяются зелёные облигации и механизмы компенсации за экосистемные услуги. Эти финансовые инструменты объединяют усилия бизнеса, государства и гражданского общества, ориентируясь на общую цель — сохранение окружающей среды.

Системный анализ показал, что основным препятствием на пути к устойчивому развитию остаётся возрастающая уязвимость перед изменением климата. Пожары представляют собой не только экологическую, но и социально-экономическую угрозу: затраты на их тушение превышают выгоды от заготовки древесины. В связи с этим, всё больше внимания уделяется превентивным мерам и адаптации к новым условиям.

Цифровизация также становится важнейшим инструментом. Из-за отсутствия достоверных данных национальные стратегии становятся менее эффективными. Внедрение мониторинга в режиме реального времени может значительно улучшить управление рисками. Биоэкономика создаёт определённые противоречия: с одной стороны, растёт спрос на древесину, а с другой — необходимо строго контролировать её устойчивость. Здесь важную роль играют сертификация и международные стандарты.

Финансовый аспект приобретает ключевое значение: переход к устойчивым моделям невозможен без долгосрочных инвестиций. Международная практика показывает, что зелёные облигации и механизмы компенсации за экосистемные услуги могут стать эффективными инструментами финансирования.

В заключение, системный подход к решению этих проблем позволит достичь устойчивого развития и обеспечить долгосрочные выгоды для всех заинтересованных сторон.

К 2025 году для устойчивого развития лесного комплекса необходимо объединить природоохранные и экономические цели. В ближайшие годы приоритетными направлениями станут (рис.2)

Рисунок 2. Приоритетные направления устойчивого развития лесного комплекса

Реализация этих мер позволит укрепить устойчивость лесных экосистем, сохранить биоразнообразие и достичь баланса между использованием ресурсов и их восстановлением.

Список литературы

1. Copernicus / ESSD & CAMS. State of Wildfires 2023–2024 / Global wildfires review 2024. – URL: essd.copernicus.org+1.
2. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report (AR6 SYR) / Special report on Climate Change and Land (SRCCL). – URL: ipcc.ch+1.
3. European Commission. Forests — EU Forest Strategy and related policies. – URL: Environment.

4. UNECE. Sustainable and circular bioeconomy in forest-based sectors (policy analysis, 2025). – URL: unece.org.
5. FAO. The State of the World's Forests 2024 — Forest-sector innovations towards a more sustainable future. Rome: FAO, 2024.
6. Global Forest Watch / World Resources Institute. Analysis of 2024 tree cover loss and drivers (WRI release, 2025). – URL: wri.org+1.
7. United Nations. United Nations Strategic Plan for Forests 2017–2030 (Global Forest Goals). – URL: un.org.
8. Rosleskhoz (Федеральное агентство лесного хозяйства). План восстановления лесов на 2025 год — новости / программы. – URL: rosleshoz.gov.ru.
9. Curtis, P. G., Hansen, M. C., & Tyukavina, A. (2023). Drivers of global forest loss. World Resources Institute.
10. World Resources Institute. (2025). Global Forest Watch: 2024 tree cover loss analysis. Washington, DC: WRI.

References

1. Copernicus / ESSD & CAMS. State of Wildfires 2023–2024 / Global wildfires review 2024. – URL: essd.copernicus.org+1.

2. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report (AR6 SYR) / Special report on Climate Change and Land (SRCCL). – URL: ipcc.ch+1.

3. European Commission. Forests — EU Forest Strategy and related policies. – URL: Environment.

4. UNECE. Sustainable and circular bioeconomy in forest-based sectors (policy analysis, 2025). – URL: unece.org.

5. FAO. The State of the World's Forests 2024 — Forest-sector innovations towards a more sustainable future. Rome: FAO, 2024.

6. Global Forest Watch / World Resources Institute. Analysis of 2024 tree cover loss and drivers (WRI release, 2025). – URL: wri.org+1.

7. United Nations. United Nations Strategic Plan for Forests 2017–2030 (Global Forest Goals). – URL: un.org.

8. Rosleskhoz (Федеральное агентство лесного хозяйства). План восстановления лесов на 2025 год — новости / программы. – URL: rosleshoz.gov.ru.

9. Curtis, P. G., Hansen, M. C., & Tyukavina, A. (2023). Drivers of global forest loss. World Resources Institute.

10. World Resources Institute. (2025). Global Forest Watch: 2024 tree cover loss analysis. Washington, DC: WRI.

DOI: 10.58168/Forestry2025_329-336
УДК 630.161

СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОГО ФОНДА РЕСПУБЛИКИ ТЫВА И СОХРАНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

А.Д. Самбуу
Д.б.н., профессор кафедры «География и туризм»,
Тувинский государственный университет, г. Кызыл
М.К. Нажик, А-Х.В. Салчак
Государственное бюджетное научное учреждение Республики Тыва «Центр биосферных исследований», г. Кызыл, Россия

Аннотация. В работе рассмотрено современное состояние лесного фонда Республики Тыва, который расположен в Центральной Азии среди горных хребтов к северу от высоких нагорий и в удалении на тысячи километров от океана. Изучены природно-климатические условия, которые обусловили разнообразие древесных пород на территории Тувы. Выявлено, что на общей площади 11390,6 тыс. га лесов, преимущественно на высоте 1500–2300 м над уровнем моря, неравномерное распределение площади лесов и их состав. Установлено, что в западной части республики леса представлены лиственницей сибирской, восточная горно-таежная часть покрыта лиственничными, кедровыми, еловыми насаждениями изредка с примесью сосны. Определено, что общий запас древесины земель лесного фонда Тувы составляет 1,2 млрд. м^3, эксплуатационный запас – 483,8 млн.м^3. Площадь защитных лесов на землях лесного фонда составляет 1866,2 тыс. га, эксплуатационных лесов – 2221,1 тыс. га, резервных лесов – 6795,6 тыс. га. Проанализированы мероприятия по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов.

Ключевые слова: лесной фонд, лесной план, использование лесов, сохранение лесов, Республик Тыва.

THE STATE OF THE FOREST FUND OF THE REPUBLIC OF TYVA AND CONSERVATION ENVIRONMENTAL POTENTIAL

A.D. Sambuu[1]
Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Geography and Tourism,
[1]Tuvan State University, Kyzyl
M.K. Nazhik, A.H.V. Salchak[2]
[2]State Budgetary Scientific Institution of the Republic of Tyva "Biosphere Research Center", Kyzyl, Russia

Abstract. The paper considers the current state of the forest fund of the Republic of Tuva, which is located in Central Asia among mountain ranges north of the high mountains and thousands of kilometers away from the ocean. The natural and climatic conditions that determined the diversity of tree species in the territory of Tuva have been studied. It has been revealed that the total area of 11390.6 thousand hectares of forests, mainly at an altitude of 1500–2300 m above sea level, has an uneven distribution of forest area and their composition. It has been established that in the western part of the republic, forests are represented by *Larix sibirica*, while the eastern mountain taiga part is covered with *Larix sibirica*, *Pinus sibirica*, and *Picea obovata*, occasionally with an admixture of *Pinus sylvestris*. It is determined that the total timber reserve of the lands of the forest fund of Tuva

© Самбуу А.Д., Нажик М.К.,Салчак А-Х.В., 2025

is 1.2 billion m^3, the operational reserve is 483.8 million m^3. The area of protective forests on the lands of the forest fund is 1866.2 thousand hectares, operational forests – 2221.1 thousand hectares, reserve forests – 6795.6 thousand hectares. The measures aimed at preserving the ecological potential of forests, adapting to climate change and increasing forest sustainability are analyzed.

Keywords: forest fund, forest plan, use of forests, conservation of forests, Republics of Tuva.

ВВЕДЕНИЕ

Республика Тыва расположена в центральной части Азиатского материка между Восточной Сибирью на севере, Монголией на юге и юго-востоке, Иркутской областью и Бурятией на северо-востоке и Республикой Алтай на западе, её географические координаты: N 49º44' и E 53º43' и N 88º52' и E 99º8'. С севера на юг её протяжённость 140–445 км, с запада на восток – 725 км. Общая площадь территории составляет 168.6 $км^2$.

Рельеф территории республики образует разнообразное сочетание гольцовых хребтов с высокими и плоскими нагорьями, со слабохолмистыми равнинами и котловинами. Наиболее возвышенные части Тывы располагаются по её периферии, наиболее пониженные – в центре и на юге, за хребтом Танну-Ола. Он является водоразделом между притоками Енисея и бессточной озерной областью полупустынной северо-западной Монголии. Леса располагаются в основном по северному склону хребта.

Горные системы республики сложены древними докембрийскими метаморфическими сланцами, гнейсами, мраморами и широко развитыми интрузивными породами. Формирование современного рельефа связано с альпийским тектогенезом, вовремя которого пенеплен, создавшийся здесь в третичный период, подвергся сводовому поднятию. В наиболее высоких ступенях образовались альпийские формы, в менее поднятых – рельеф гольцовых плоскогорий, а в наиболее отставших – межгорные впадины. Рельеф хорошо сохраняет следы древнего пенеплена в виде плоских поверхностей вершин. Сохранились следы древнего оледенения. Распространены многочисленные морены, троговые долины, каровые ниши, обширные цирки. Местами встречаются небольшие ледники.

Климат республики резко континентальный, что обусловлено географическим положением в Центральной Азии среди горных хребтов к северу от высоких нагорий и в удалении на тысячи километров от океана. Сложное строение рельефа вызывает разнообразие климатических условий по территории и образование высотных зональных климатических поясов. Годовая амплитуда температур в г. Кызыле равна 52˚, очень велики также суточные амплитуды, особенно в марте.

Зима в Тыве продолжительная и холодная. Температура воздуха на вершинах гор иногда на 20˚ выше, чем на дне котловин. Самая низкая температура бывает в январе (-34.9˚ в Туране и Эрзине и -34˚ в Кызыле и Сарыг-Сепе). В отдельные дни в восточной части долинно-степной зоны температура может опускаться до -60˚ (Сарыг-Сеп). Суровость зимнего режима определяется преобладанием антициклонального режима погоды с частыми затишьями, устойчивыми морозами, которые по целым месяцам не прерываются оттепелями. Устойчивые морозы прекращаются в третьей декаде марта. Глубина снежного покрова в долинно-степной части Тывы 10–15 см, в горах на высоте 1200–1500 м до150 и более сантиметров. Устойчивый снежный покров образуется в первой декаде ноября (средняя дата в г. Кызыл 11 ноября). Разрушение устойчивого снежного покрова происходит первой декаде апреля (средняя дата в г. Кызыл 4 апреля). Снег сходит почти сразу после разрушения – в течение недели. Число дней со снежным покровом изменяется от140 до 190 дней с увеличением высоты местности над уровнем моря.

Переход среднесуточной температуры через 0˚ происходит в третьей декаде апреля, однако ночные заморозки продолжаются до конца мая и часто возможны в начале июня.

Переход температуры через 5˚, означающий начало вегетационного периода, происходит в середине или конце мая.

В Тыве лето теплое, в котловинах жаркое. Наступает оно в начале июня. Среднемесячная температура самого теплого месяца – июля 20˚, а в горах на высоте 1300–

1400 м – около 12˚. Наиболее высокие температуры в отдельные дни доходят до 40˚ в котловинах и 32–35˚ в горах. Период с температурами выше 10˚ составляет 100–125 дней в долинах, а на высоте 1400 метров 80 дней. Безморозный период колеблется от 60 до 125 дней.

Основное количество осадков (60-70%) выпадает в летние месяцы. Среднее многолетнее годовое количество осадков по данным метеостанции г. Кызыл составляет 215 мм, по данным метеостанции Хамсара – 360 мм, по данным метеостанции Сейба – 407 мм, по данным метеостанции Мугур-Аксы – 152 мм.

Первые осенние заморозки наблюдаются в первой декаде сентября. Переход температуры через 5˚, означающий конец вегетационного периода, происходит в конце августа – начале сентября. Осень короткая и сухая, наступает в первой – второй декаде сентября, а в горных районах в конце августа. Ночные заморозки в сентябре часты, но днем температура может повышаться довольно значительно (до 33˚ в г. Кызыле). Продолжительность осени составляет около 25–35 дней.

Относительная влажность воздуха, характеризующая степень насыщенности воздуха водяным паром, меняется в течение года в широких пределах от 30–50% в мае до 70–75 в декабре–январе. В Туве отмечается от 36 до 72 сухих дней в году (дни с относительной влажностью менее 30%). Число влажных дней с относительной влажностью 80% и более изменяется от 22 (Эрзин) до 72 (Кызыл), причем на западе их меньше, на востоке больше.

Физико-географическое положение территории занятой лесными массивами в республике, где 80% которой входят в состав горных систем с крутыми склонами, а также отсутствие железной дороги, морских портов, причалов предопределяют фактический уровень лесопользования, ориентированный только на внутреннее потребление заготавливаемой древесины (экстенсивное лесопользование). В пространственном отношении лесные массивы в границах республики расположены неравномерно. Около 70% их находятся в восточной горной части на территории Тоджинского и Каа-Хемского муниципальных районов.

Природно-климатические условия в целом благоприятны для произрастания лесной растительности, но резкие отклонения погодных условий в отдельные годы от средних показателей – засушливые периоды, ухудшающие условия для прорастания семян и развития всходов, поздние весенние заморозки до 15 июня и ранние осенние заморозки с 15 августа, значительно сокращают период активной вегетации. Низкие температуры зимой до – 48–53 °С, вызывающие глубокие морозобойные трещины, сильные ветры до 20 м/с и более, вызывающие буреломы и ветровалы в сочетании с низким естественным плодородием почв, отрицательно влияют на рост и развитие насаждений, особенно молодняков и лесных культур.

Объект исследования

Общая площадь лесов Республики Тыва по состоянию на 01.01.2024 года составила 11390.6 тыс. га или 67.4% её общей земельной площади (рис. 1). Лесные ландшафты располагаются преимущественно на высоте 1500–2300 м над уровнем моря. В западной части республики леса представлены лиственницей сибирской, восточная горно-таежная часть покрыта лиственничными, кедровыми, еловыми насаждениями изредка с примесью сосны. Выше пояса горных лесов распространены субальпийские и альпийские луга с низкорослыми кустарниками. Выше альпийских лугов развита мохово-лишайниковая или горная тундра.

Органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации в сфере лесных отношений по Республике Тыва в Сибирском Федеральном округе является Министерство лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва. Республика обладает значительным, неосвоенным, природно-ресурсным потенциалом. По данным государственного лесного реестра на 01.01.2024 год общий запас древесины земель лесного фонда составляет 1,2 млрд. м^3, эксплуатационный запас (спелые и перестойные насаждения) – 483,8 млн.м^3.

В целом по республике лесные земли занимают 49,7% её территории. Согласно Лесному кодексу Российской Федерации (2006 г. ст. 8) лесные участки республики в составе земель лесного фонда находятся в федеральной собственности. Министерству лесного

хозяйства и природопользования Республики Тыва переданы полномочия в сфере лесных отношений, поэтому должен обеспечивать рациональное использование, охрану, защиту и воспроизводство лесов.

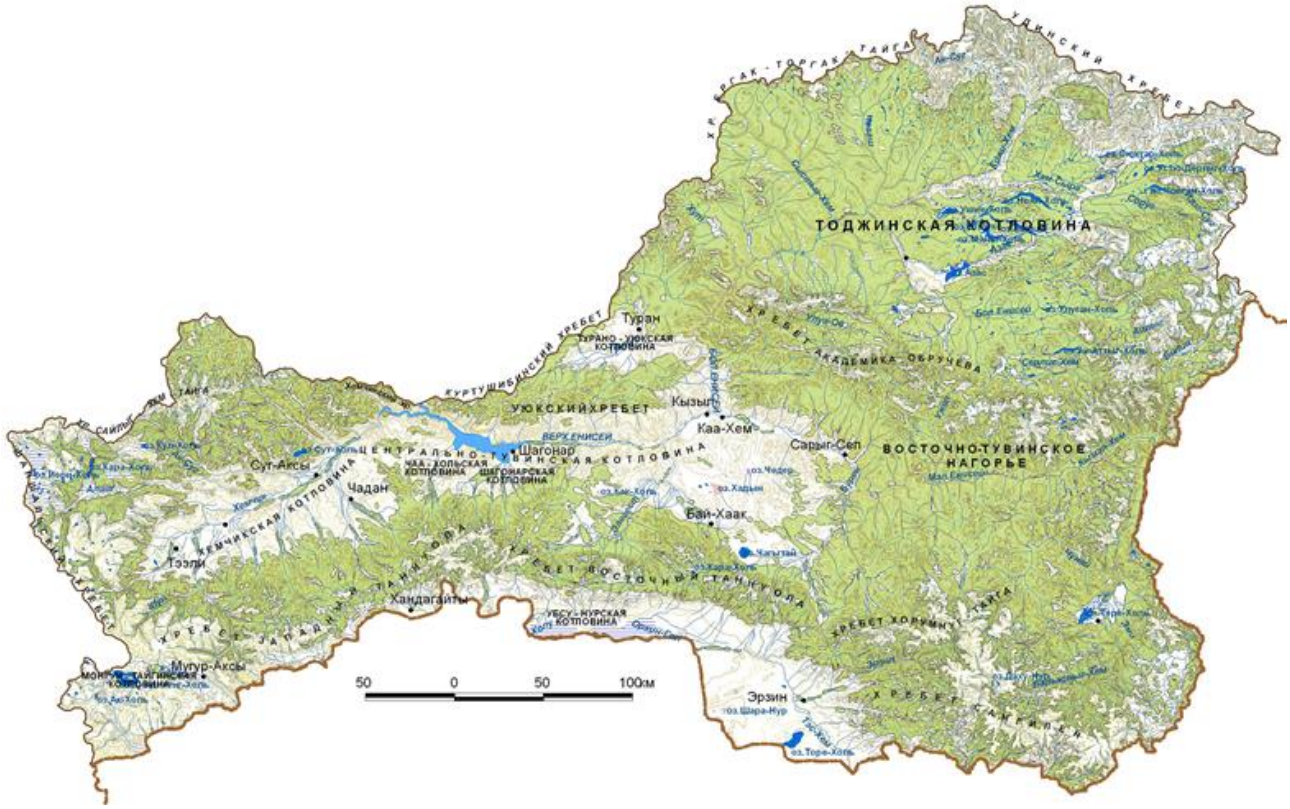


Рис. 1. Карта-схема лесов Республики Тыва

Особенностью природно-ресурсного потенциала Тывы является его многокомпонентность, большие по величине и экономической ценности запасы возобновляемых и не возобновляемых видов природных ресурсов.

В связи с передачей Министерству лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва основных распорядительных полномочий по организации использования лесов, их охраны, защиты и воспроизводства на землях лесного фонда, а также с планируемым ростом развития лесопромышленного комплекса и увеличением объемов использования лесов в республике, организация устойчивого управления лесами, их многоцелевое, непрерывное и не истощительное использование являются одной из основных стратегических задач, стоящих перед органами власти Республики Тыва.

Результаты исследования

Распределение площади лесов и состава по целевому назначению и категориям защитных лесов

В соответствии со ст. 10 ЛК РФ леса, расположенные на землях лесного фонда, по целевому назначению подразделяются на защитные леса, эксплуатационные леса и резервные леса [1].

К защитным лесам отнесены леса, основными задачами которых являются выполнение: водоохранных, почвозащитных, санитарно-гигиенических, общекультурных, плодопромысловых и ряда других функций. Кроме того, защитные леса являются источниками запасов спелой и перестойной древесины. Пользование лесом в защитных лесах направлено в первую очередь на укрепление их целевых функций. Площадь защитных лесов на землях лесного фонда Тувы составляет 1866,2 тыс. га (17,2%) [2-5].

К эксплуатационным лесам отнесены леса, которые подлежат освоению в целях устойчивого и эффективного использования лесных ресурсов, в том числе, получения

высококачественной товарной древесины и других лесных ресурсов, с сохранением полезных функций лесов. Площадь эксплуатационных лесов в республике на землях лесного фонда составляет 2221,1 тыс. га (20,4%).

К резервным лесам относятся леса, в которых в течение двадцати лет не планируется осуществлять заготовку древесины. Площадь резервных лесов составляет 6795,6 тыс. га (62,4%). За период действия лесного плана произошли изменения в распределении площади лесного фонда по целевому назначению и категориям защитных лесов обусловленные переводом площадей из категории земель лесного фонда в иные категории, а также переводом их в эксплуатационные и защитные леса, в целях эффективного освоения данных лесов.

По данным государственного лесного реестра на 01.01.2024 года защитные леса увеличились на 72,5% или 784,3 тыс. га, данное увеличение связано в основном с выделением на территории республики категории защитных лесов «Леса, расположенные в водоохранных зонах», которое выполнено в соответствии со ст. 65 Водного кодекса Российской Федерации. По этой же причине произошло уменьшение эксплуатационных и резервных лесов, на 1,6% и 9,9% соответственно.

Существующее распределение площади лесов республики по целевому назначению и категориям защитных лесов не в полной мере отвечает действующему законодательству и требует пересмотра в части перевода части лесов из резервных лесов в эксплуатационные леса, в связи с перспективами их использования (заготовка древесины, геологическое изучение недр и разработка месторождений полезных ископаемых, осуществление рекреационной деятельности и др.), а также категории защитных лесов «Ценные леса: б) «Противоэрозионные леса».

Существует также необходимость выделения из эксплуатационных лесов:

- категории защитных лесов «Леса, расположенные на землях ООПТ» на территории ООПТ республиканского значения, расположенных в эксплуатационных и резервных лесах;
- категории защитных лесов «Леса, расположенные в водоохранных зонах» (не во всех лесничествах выделена данная категория защитных лесов).

Распределение площади лесов по группам древесных пород и группам возраста

По данным государственного лесного реестра на 01.01.2024 года площадь лесов лесного фонда республики Тыва, занятая хвойными породами составил 7327,622 тыс. га, мягколиственными – 275,716 тыс. га [6-9].

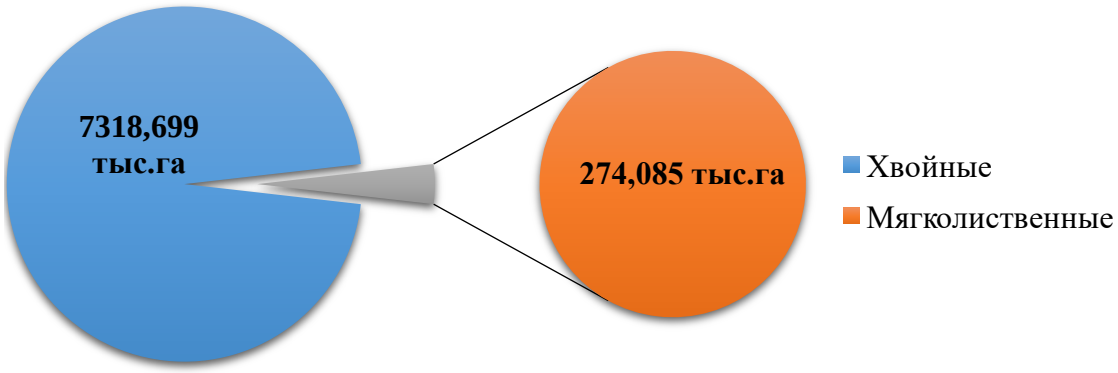


Рис. 2. Распределение площади лесов занятая основными древесными породами по группам на 01.01.2024 г.

В распределении по группам возраста среди хвойных древесных пород преобладают спелые и перестойные насаждения (34,6%), и средневозрастные доля которых составляет 33,2% от общей площади хвойных древостоев, среди мягколиственных преобладают спелые и перестойные насаждения – 60,9%. Доля молодняков хвойных древесных пород составляет 8,8%, доля молодняков мягколиственных древесных пород составляет 4,7%.

Использование лесов и объем заготовки древесины

На землях лесного фонда фактически заготовлено при рубке спелых и перестойных лесных насаждений, при уходе за лесами, при вырубке поврежденных и погибших лесных насаждений, а также при рубке лесных насаждений на лесных участках, предназначенных для строительства, реконструкции и эксплуатации объектов лесной, лесоперерабатывающей инфраструктуры и объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры 1380,0 тыс. $м^3$ ликвидной древесины, в том числе по хвойному хозяйству 1358,4 тыс. $м^3$ (98,4%), мягколиственному хозяйству – 21,6 тыс. $м^3$ (1,6%).

Объем сплошных рубок при этом составил лишь 92,1 тыс. $м^3$ (6,7% от общего объема), в том числе по хвойному хозяйству 89,5 тыс. $м^3$ (6,6%). Использование расчетной лесосеки по ним в среднем по республике составило 11,0%, по хвойному хозяйству – 13,9%, мягколиственному хозяйству – 0,5%.

Наличие не используемой расчетной лесосеки при рубке спелых и перестойных лесов в объеме 1 млн. $м^3$ древесины (ежегодно), не способствует вовлечению к использованию мелкотоварной древесины от рубок ухода по причине более низкой эффективности их заготовки, а также и в отсутствии потребности в такой древесине. В целом суммарный объем по всем видам рубок составил фактически в среднем в год 153,3 тыс. $м^3$ древесины, при допустимом объеме согласно лесохозяйственным регламентам – 2971,3 тыс. $м^3$. Используется лишь 5,2 % от возможного объема.

Мероприятия по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов

Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата, ратифицированная Федеральным законом от 04.11.1994 года № 34-ФЗ, предусматривает сотрудничество с целью адаптации к последствиям изменения климата; разработки соответствующих комплексных планов по ведению хозяйства, по охране и восстановлению районов, пострадавших от засухи и опустынивания.

Парижское соглашение по климату было принято 12.12.2015 года по итогам 21-й конференции Рамочной конвенции об изменении климата в Париже.

Выработанное в Париже соглашение по климату впервые в истории объединило усилия всех мировых держав по сдерживанию климатических изменений. Оно пришло на смену действовавшему до того момента Киотскому протоколу от 1997 г., установившему квоты по выбросу парниковых газов только для нескольких развитых стран, однако США вышли из этого соглашения, а ряд других стран не выполнили договоренности.

Соглашение направлено на укрепление глобального реагирования на угрозу изменения климата в контексте устойчивого развития и усилий по искоренению нищеты, в том числе посредством:

- удержания прироста глобальной средней температуры намного ниже 2°С и приложения усилий в целях ограничения роста температуры до 1,5°С, что значительно сократит риски и воздействия изменения климата;
- повышения способности адаптироваться к неблагоприятным воздействиям изменения климата и содействия развитию при низком уровне выбросов парниковых газов, таким образом, который не ставит под угрозу производство продовольствия;
- приведения финансовых потоков в направлении развития, характеризующегося низким уровнем выбросов и сопротивляемостью к изменению климата.

Парижское соглашение определяет, что конкретные меры по борьбе с изменением климата должны быть нацелены на сокращение выбросов парниковых газов, причем их разработка и осуществление полностью возлагается на национальные правительства.

Согласно распоряжения Правительства РФ от 26.09.2013 № 1724-р «Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года» при решении задачи сохранения экологического потенциала лесов предусматривается:

а) сохранение генетического, видового, экосистемного и ландшафтного разнообразия лесов, а также предотвращение фрагментации лесов (в первую очередь лесов, имеющих высокую экологическую ценность);

б) формирование национального лесного наследия Российской Федерации, то есть фонда лесов, не подлежащих хозяйственному освоению

в) разработка и осуществление мер по использованию лесов для сдерживания изменений климата, а также адаптации лесного сектора экономики к этим изменениям;

г) разработка и применение технологий, обеспечивающих сохранение экологических функций лесов и их биологического разнообразия, включая методы использования лесов, имитирующие их естественную динамику и обеспечивающие формирование разновозрастных многопородных насаждений.

С 2016 года начала выстраиваться деятельность Российского партнерства за сохранение климата, в которой принимают участие уже более 20 организаций: приняты план действий и меморандум, определяющий принципы работы Партнерства. Цель партнерства – стимулировать российские компании к переходу на более экологичные способы производства, добиваться введения сбалансированных мер поддержки, которые обеспечат экономическую эффективность инвестиций в «зеленые» технологии. Содержание инициативы соответствует целям климатического соглашения, достигнутого на XXI конференции сторон Рамочной Конвенции ООН по изменению климата и Целям устойчивого развития – 2030.

Приоритетные направления сотрудничества в рамках Партнерства включают объединение усилий делового сообщества РФ для выполнения Россией международных обязательств по сокращению выбросов парниковых газов к 2030 по отношению к 1990 году на 25–30 %. Отдельное направление составит работа по введению «цены на углерод» - обязательной выплаты за выбросы углерода – в России и других странах. По мнению участников партнерства, именно такая мера обеспечит равные условия конкуренции на международном рынке.

Главной площадкой для климатического партнерства стала пленарная сессия «Партнерство Правительства и бизнеса – основные направления и перспективы взаимодействия», объединившая представителей правительства России (в лице чиновников Министерства экономического развития и Министерства природных ресурсов и экологии), общественные организации и крупный бизнес

Правительством Республики Тыва для развития территории будут привлекаться в будущем крупные бизнес-структуры (для строительства железной дороги Курагино-Кызыл, разработки месторождений полезных ископаемых и др.) заинтересованные эффективно сотрудничать как с точки зрения экономики так и экологии, для сотрудничества в рамках Партнерства с целью внедрения более экологичных технологий новым членам доступ свободен.

Финансирование мероприятий планируется реализовать, кроме всего прочего, за счет средств участников Партнерства, желающих компенсировать (нейтрализовать), негативный углеродный след, образующийся в результате планируемой промышленной деятельности. На текущий момент механизм компенсации прорабатывается в Министерстве экономического развития Российской Федерации.

Заключение

Стратегическими целями сохранения лесного фонда Республики Тыва в сфере охраны окружающей среды является сохранение экологического потенциала лесов региона, оздоровление экологической обстановки и обеспечение экологической безопасности населения и территорий муниципальных районов (кожуунов), сохранение и восстановление лесных экосистем, обеспечение рационального и устойчивого природопользования в области лесных отношений.

Принципы устойчивого экологического развития и рационального природопользования и, в частности, лесопользования предполагают управляемый процесс

реализации его ресурсного (по видам использования лесов) и экологического потенциала, создающий условия для стабильного функционирования территории региона в настоящем и будущем.

Список литературы

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 26.12.2024 г.) (с измен. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025).
2. Самбуу А.Д., Красноборов И.М., Севастьянов В.В., Севастьянова М.Г., Сухова М.Г., Андрейчик М.Ф., Кудрявцев В.И., Кудрявцева А.И., Забелин В.И., Арчимаева Т.П., Курбатская С.С., Гуркова Е.А., Прудникова Т.Н., Заика В.В., Аракчаа Л.К., Куксин А.Н., Куксина Д.К. Природные ресурсы Республики Тыва. новосибирск: Гарамонд, 2018. 418 с.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.04.2007 г. № 246 «Об утверждении положения о подготовке лесного плана субъекта Российской Федерации». М, 2007. 6 с.
4. Приказ Министерства природных ресурсов России от 16.07.2007 г. № 182 «Об утверждении типовой формы Лесного плана субъекта Российской Федерации». М., 2007. 24 с.
5. Приказ Рослесхоза от 27.06.2007 г. № 289 «Об организации лесничеств, расположенных на территории Республики Тыва».
6. Стратегия социально-экономического развития Республики Тыва до 2030 г. Кызыл, 2018. 136 с.
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2022 г. № 921 «Стратегия развития лесного хозяйства Республики Тыва на период до 2030 г.». Кызыл, 2022. 22 с.
8. Годовые отчёты Агентства лесного хозяйства Республики Тыва за 2003–2025 гг.
9. Проекты организации и ведения лесного хозяйства по лесхозам Республики Тыва составленными лесоустроительными предприятиями в период 1983-2025 гг.

References

1. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii ot 04.12.2006 N 200-FZ (red. ot 26.12.2024) (s izmen. i dop., vstup. v silu s 01.09.2025).
2. Sambuu A.D., Krasnoborov I.M., Sevast'yanov V.V., Sevast'yanova M.G., Suhova M.G., An-drejchik M.F., Kudryavcev V.I., Kudryavceva A.I., Zabelin V.I., Archimaeva T.P., Kurbat-skaya S.S., Gurkova E.A., Prudnikova T.N., Zaika V.V., Arakchaa L.K., Kuksin A.N., Kuksina D.K. Prirodnye resursy Respubliki Tyva. novosibirsk: Garamond, 2018. 418 s.
3. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 24.04.2007 № 246 «Ob utverzhdenii polozheniya o podgotovke lesnogo plana sub"ekta Rossijskoj Federacii». M, 2007. 6 s.
4. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov Rossii ot 16.07.2007 № 182 «Ob utverzhdenii tipovoj formy Lesnogo plana sub"ekta Rossijskoj Federacii». M., 2007. 24 s.
5. Prikaz Rosleskhoza ot 27.06.2007. № 289 «Ob organizacii lesnichestv, raspolozhennyh na territorii Respubliki Tyva».
6. Strategiya social'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Tyva do 2030. Kyzyl, 2018. 136 s.
7. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 21.12.2022 № 921 «Strategiya razvitiya lesnogo hozyajstva Respubliki Tyva na period do 2030». Kyzyl, 2022. 22 s.
8. Godovye otchyoty Agentstva lesnogo hozyajstva Respubliki Tyva za 2003–2025.
9. Proekty organizacii i vedeniya lesnogo hozyajstva po leskhozam Respubliki Tyva sostav-lennymi lesoustroitel'nymi predpriyatiyami v period 1983-2025.

DOI: 10.58168/Forestry2025_337-343
УДК 330.15

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю. Н. Степанова
д.э.н., профессор кафедры экономики и финансов
ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Д. К. Колесник
аспирант кафедры экономики и финансов
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Вопрос рационального землепользования в сельском хозяйстве является ключевым в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. В дополнение, землепользование является одной из составляющих сектора ЗИЗЛХ (землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство), мероприятия которого в виде оценки поглощающей способности экосистем и стимулирования развития природно-климатических проектов по повышению поглотительной способности парниковых газов формируют целевые показатели стратегии СНУР. В статье выделены эколого-экономические особенности землепользования в Воронежской области с учетом специфики использования земель сельскохозяйственного назначения. Отражено влияние эколого-экономических особенностей на законодательное регулирование прав в области землепользования, на эколого-экономическую оценку земельных ресурсов и на разработку мероприятий по получению эколого-экономических эффектов от использования земельных ресурсов. Логическим продолжением выявленных эколого-экономических особенностей должно стать формирование системы регулирования рационального землепользования в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: землепользование, климатическая повестка, сельское хозяйство, ЗИЗЛХ.

ECOLOGICAL AND ECONOMIC FEATURES OF LAND USE IN THE VORONEZH REGION

Yu. N. Stepanova
Doctor of Economics, Professor of the Department of Economics and Finance, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

D. K. Kolesnik
post-graduate student of the Department of Economics and Finance, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.
The issue of rational land use in agriculture is a key one in the context of ensuring food security in the Russian Federation. In addition, land use is one of the components of the LULUCF sector (land

© Степанова Ю. Н., Колесник Д. К., 2025

use, land-use change and forestry), whose activities in the form of assessing the absorption capacity of ecosystems and stimulating the development of natural climate projects to increase the absorption capacity of greenhouse gases form the targets of the SDGS strategy. The article highlights the ecological and economic features of land use in the Voronezh region, taking into account the specifics of the use of agricultural land. The influence of ecological and economic features on the legislative regulation of land use rights, on the ecological and economic assessment of land resources and on the development of measures to obtain an ecological and economic effect from the use of land resources is reflected. The logical continuation of the identified ecological and economic features should be the formation of a system for regulating rational land use in agriculture.

Keywords: land use, climate agenda, agriculture, LULUCF.

Классическое понимание важности рационального землепользования, как фактора обеспечения продовольственной безопасности страны было дополнено современной климатической повесткой, которая способствовала интеграции вопросов землепользования в адаптационные процессы, связанные с воздействием климатических изменений. Сегодня, сектор ЗИЗЛХ играет важнейшую роль в достижении цели сдерживания глобального потепления до 1,5 °С к 2030 году.

По данным национального кадастра парниковых газов, сектор ЗИЗЛХ является основным нетто-поглотителем CO_2, на долю лесных земель приходится примерно 629 млн. тонн CO_2 экв. в год, а на пастбища и сенокосы - 4 млн. тонн CO_2 экв. в год [4]. В рамках выполнения ОНУВ страны устанавливают цели по сокращению выбросов парниковых газов, в том числе с учётом потенциала сектора ЗИЗЛХ.

В Российской Федерации одним из целевых показателей СНУР является увеличение поглощения в секторе ЗИЗЛХ с текущих 535 млн. тонн CO2-экв. до 1200 млн. тонн CO2-экв., или на 665 млн. тонн CO2-экв [2]. В рамках СНУР рост поглощений в секторе ЗИЗЛХ должен составить примерно 42% от общего объёма процесса декарбонизации в нашей стране.

Рассмотрим определение землепользования с позиции международных экспертиз и российских исследователей-практиков.

Термин «землепользование» определен межправительственной группой экспертов по изменению климата как «совокупность мероприятий, видов деятельности и затрат, применяемых к земельному участку [10]. Эксперты МГЭИК выделяют в землепользовании следующие категории: лесные угодья, сельскохозяйственные угодья (пахотные земли), пастбища, водно-болотные угодья, поселения и другие земли. В соответствии с определением ООН, «землепользование связано с продукцией, получаемой от использования земельных ресурсов, в результате управления ими» [11]/

По мнению российского исследователя Х.А. Одинаева, землепользование представляет собой пространственную структуру, формируемую на принципах устойчивого развития, стабильности целевого использования земель и создания условий для нормального ведения хозяйства [7]. Ученые В.В. Гарманов и А.Р. Грик определяют землепользование как сложный социально-экономический процесс хозяйственного использования земли с учетом действующего законодательства и национальных традиций [8]. Так З.А. Шарафутдинова и М.Н. Исянбаев рассматривают землепользование на основании экономической интерпретации фаз оборота земли в процессе воспроизводства. На их взгляд, землепользование состоит из четырёх элементов, которые в полной мере отражают различные стороны использования земель в сельском хозяйстве: «перераспределение земли – обмен – использование земли – восстановление» [9].

В нашей стране основным документом, определяющим землепользование, то есть порядок использования земли, является «Земельный кодекс Российской Федерации» [1]. Под землепользование в правовой системе понимается процесс использования земли в установленном законом порядке. Вопросы, связанные с использованием земельных ресурсов, находятся в совместном ведении Российской Федерации и ее субъектов. Площадь

землепользования на 1.01.2025 года составила 1 723 399,1 тыс. га без учета внутренних морских вод и территориального моря (рис.1) [3].

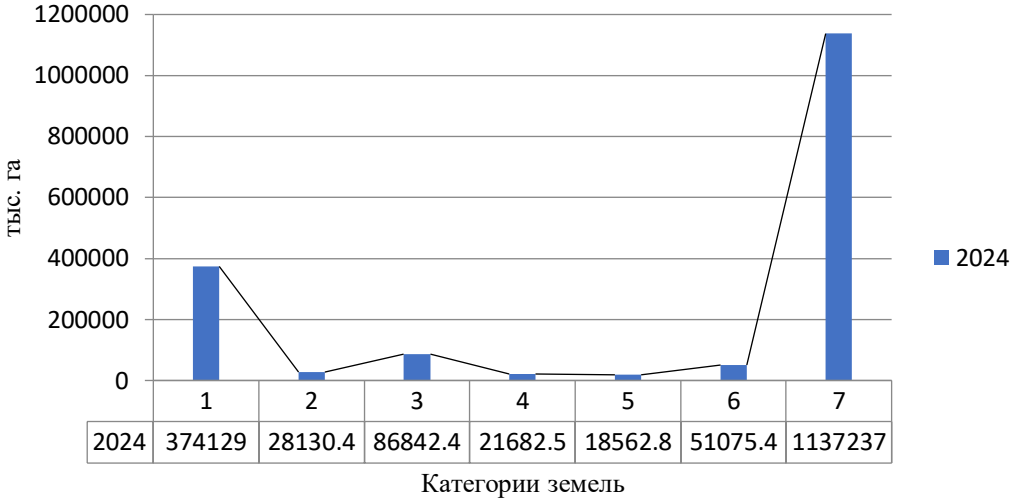


Рисунок 1 - Площадь землепользования в РФ на 01.01.2025 г., по категориям, тыс.га – земли сельскохозяйственного назначения; (2) – земли водного фонда; (3) – земли запаса; (4) – земли населенных пунктов; (5)- земли промышленного и иного специального назначения; (6) – земли особо охраняемых территорий и объектов; (7) – земли лесного фонда

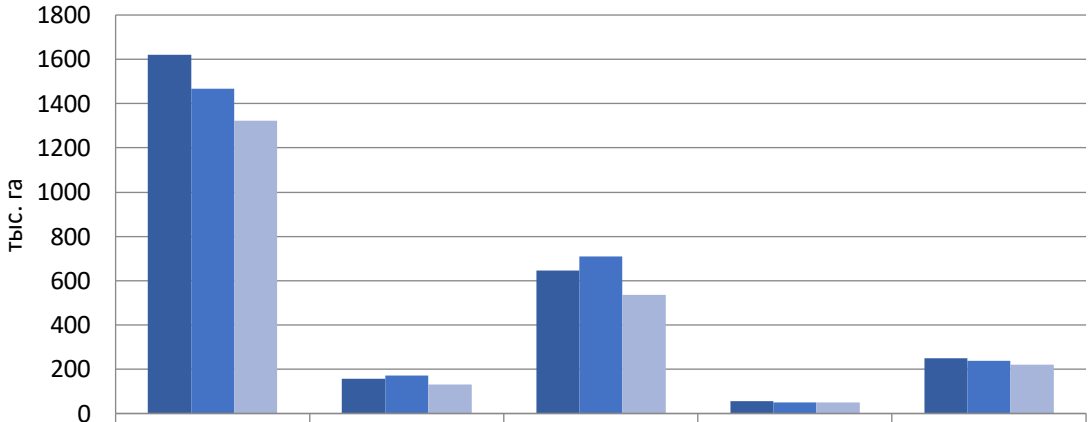
Первое место в структуре землепользования приходится на долю земель лесного фонда - 66,2%. Земли сельскохозяйственного назначения в структуре землепользования занимают второе место со значением 21,8%. Исходя из того, что в Воронежской области ключевой отраслью экономики является сельское хозяйство, выделим эколого-экономические особенности рационального землепользования на землях сельскохозяйственного назначения.

Сельское хозяйство не только обеспечивает продовольственную безопасность Воронежской области, но обладает высоким экспортным потенциалом экономической деятельности региона. Воронежская область исторически является регионом с благоприятными природно-климатическими условиями для ведения сельского хозяйства, несмотря на то, что входит в зону рискованного земледелия. Первые свидетельства использования земель в растениеводстве приходятся на VI–V век до н.э. На сегодняшний день отрасль активно развивается за счет поддержки государства, внутренних ресурсов сельскохозяйственных предприятий и высокого спроса на сельскохозяйственную продукцию, как в самом регионе, так и далеко за его пределами.

Фонд землепользования Воронежской области составляет более 5 221,6 тыс. га земель различных видов использования и форм собственности. На долю земель сельскохозяйственного назначения приходится более 75 % что составляет более 3995 тыс. га. В области зарегистрировано 1105 хозяйствующих субъектов, с общей численностью более 37 тысяч сотрудников, ведущих свою деятельность в сельском хозяйстве. По итогам 2024 года, доля сельского хозяйства в ВРП составила 15,9 %, тем самым занимая второе место в структуре ВРП региона. Экспорт сельскохозяйственной продукции составляет около 3,5% от общего объема ВРП [5].

Основной задачей стратегии социально-экономического развития Воронежской области является достижение роста производства сельскохозяйственной продукции на уровне 30% к 2030 году. Достичь таких высоких результатов в текущих условиях возможно исключительно путем оптимизации текущих процессов землепользования. Сельское хозяйство как отрасль экономики является, пожалуй, одной из наиболее природоемких отраслей экономики, так как земельные ресурсы в такой системе выступают главным средством производства и функционирование отрасли без них невозможно.

На территории Воронежской области площадь пашен превышает 3 000 тыс. га, таким образом, основным видом землепользования на землях сельскохозяйственного назначения является выращивание сельскохозяйственных культур. Основная площадь сельскохозяйственных угодий задействована под зерновыми и зернобобовыми культурами. За период 2022-2024 гг., их динамика снизилась на 18,3 % с 1 619,7 тыс. га до 1 322,8 тыс. га от общего объема посевных площадей. Существенная доля в общем объеме посевных площадей занята подсолнечником и сахарной свеклой. По культурам также наблюдается отрицательная динамика с падением на 17,1% и 17,3% соответственно [6]. Эти две культуры играют существенную роль в развитии перерабатывающей промышленности региона. Подсолнечник является основным сырьем для масложировой промышленности и продукты его переработки являются одним из перспективнейших направлений экспорта. Сахарная свекла, в свою очередь, является исходным сырьем для производства сахара – одного из важнейших продуктов первой необходимости. Анализ посевных площадей на территории Воронежской области за период 2022-2024 гг., показал отрицательную динамику их использования, которая составила 17,3% или 472 тыс. га (рис. 2).



	зерновые культуры	сахарная свекла	подсолнечник	картофель и овощебахчевые	кормовые
2022	1619.7	156.6	646.4	55.2	250.4
2023	1466.4	172	709.8	50.8	237.5
2024	1322.8	129.8	535.7	48.7	219.3

Рисунок 2 – Динамика посевных площадей сельскохозяйственных культур за период 2022-2024 гг.

Таким образом, по итогам 2024 года из совокупного объема территориального фонда землепользования по категории сельскохозяйственные земли - 3 995 тыс. га используется только 2 256,3 тыс. га, что составляет 56,4%. Сложившаяся ситуация приводит к необходимости формирования системы регулирования рационального землепользования в части категории земель сельскохозяйственного назначения на территории Воронежской области.

Для Воронежской области характерны следующие эколого-экономические особенности землепользования (рис. 3). Определяя экономические особенности землепользования в Воронежской области, отметим, что при формировании стратегий развития большинству хозяйствующих субъектов в области сельского хозяйства, не удается достичь баланса между сохранением и приумножением природных ресурсов и экономическими выгодами. Эта особенность представляет собой сложную взаимосвязь факторов, которые влияют на достижение целей социально-экономического развития. При максимальном извлечении выгоды от использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве, почвы теряют свои ценные свойства, восстановление которых естественным путем занимает значительное время или же невозможно вовсе. Чернозем, как один из наиболее плодородных типов почв, занимает

более 90% от всех посевных площадей региона. Он обладает высоким бонитетом и хорошей влагоемкостью. Наиболее продуктивными культурами на таком типе почв являются зерновые и технические культуры, а также сахарная свекла.

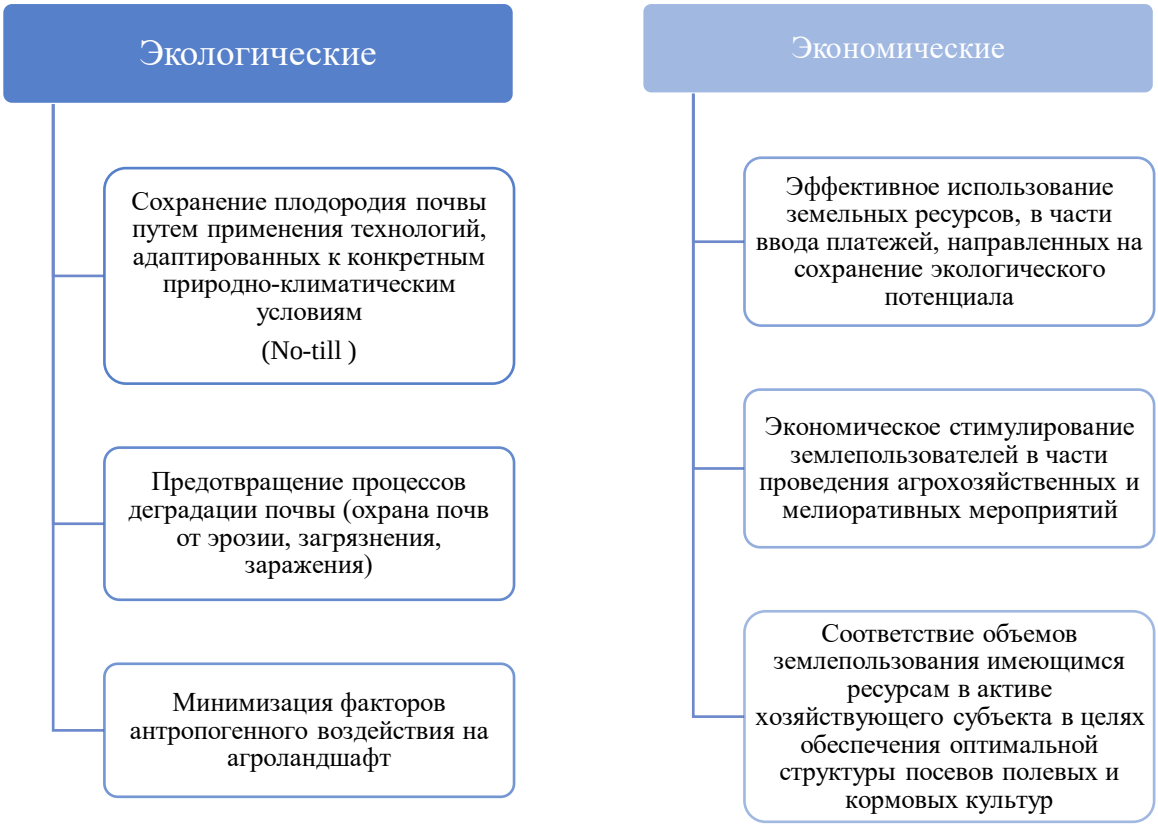


Рисунок 3– Эколого-экономические особенности землепользования на землях сельскохозяйственного назначения в Воронежской области

Интенсивная модель использования земельных ресурсов - одновременно и положительная, и негативная особенность. С одной стороны, интенсивное использование дает большую экономическую отдачу при тех же ресурсах, однако может приводить к их истощению. Земельные ресурсы Воронежской области активно используются в сельскохозяйственном производстве, однако такое использование приводят к ряду негативных тенденций. Интенсивное и иррациональное использования земельных ресурсов в сельском хозяйстве приводит к значительному их истощению в долгосрочной перспективе. Желание хозяйствующих субъектов максимизировать прибыль за счет иррационального построения севооборота, нарушение агротехнологий или использование большого количества пестицидов и удобрений приводит к ухудшению основных свойств почвы. Такая модель землепользования в долгосрочной перспективе приводит к большим затратам на мелиорационные мероприятия.

Определяя экологические особенности землепользования в Воронежской области, отметим, что ввод земель в сельскохозяйственный оборот неминуемо приводит к уничтожению естественных видов растений и животных, а использование пестицидов приводит к гибели полезных насекомых. Возделывание однотипных культур на больших площадях создает благоприятные условия для развития инвазивных видов вредителей и развитию их резистентности к существующим пестицидам.

В Воронежской области начинают проявляться экстремальные погодно-климатические явления, которые ранее не были характерны для этого региона, к таким явлениям можно отнести: возвратные заморозки, засуху, малую высоту снежного покрова в зимний период, неравномерное распределение осадков в течение сезона и т.д.

Использование классических технологий земледелия, таких как вспашка, неминуемо приводит к разрушению структуры почвы, что ускоряет процесс ветровой и водяной эрозии. Уничтожение лесозащитных насаждение и содержание их в ненадлежащем состоянии приводит к тому, что большинство существующих насаждений были созданы более 70 лет назад и многие из них под воздействием естественных факторов пришли в ненадлежащее состояние, из-за этого ускоряются процессы эрозии и меняется микроклимат на территории сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, выделение эколого-экономических особенностей землепользования в контексте выполнения национальных задач занимает центральное место. В статье обоснованы особенности землепользования на территории Воронежской области в виде: высокой степени освоения и распаханности территории, увеличения площади эродированных земель, расширения площади посева подсолнечника, низкого показателя площади полезащитных насаждений.

Список литературы

1. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 31.07.2025) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025) // «КонсультантПлюс». - URL:https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/
2. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года // «КонсультантПлюс». - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/
3. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2024 году. Росреестр. Москва 2025. - URL:https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/
4. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2017 гг. 2019 - URL http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/
5. Воронежский статистический ежегодник 2024 год // «Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области» - – URL: https://36.rosstat.gov.ru/folder/26769#
6. Отчет: посевные площади основных сельскохозяйственных культур по категориям хозяйств за 2024 год // «Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области» - – URL: https://36.rosstat.gov.ru/folder/32554?print=1
7. Одинаев, Х. А. Эколого-экономическое регулирование природопользования в сельском хозяйстве / Х. А. Одинаев. Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, экон. фак. – Москва : МАКС Пресс, 2004. – 238 с.
8. Управление сельскохозяйственным землепользованием: управляемаяподсистема / В. В. Гарманов, А. Р. Грик, В. В. Терлеев, А. Г. Осипов. – Текст :непосредственный // Вестник факультета землеустройства Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019.
9. Шарафутдинова, З. А. Регулирование землепользования в регионе :монография / З. А. Шарафутдинова, М. Н. Исянбаев. – Уфа : ИСЭИ УНЦ РАН, 2010.– 156 с.
10. IPCC, 2022: Annex II: Glossary [Möller, V., R. van Diemen, J.B.R. Matthews, C. Méndez, S. Semenov, J.S. Fuglestvedt, A. Reisinger (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability - – URL:https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/annex-ii/
11. FAO Land and Water Division retrieved 14 September 2010 - – URL:https://www.fao.org/land-water/home/en/

References

1. The Land Code of the Russian Federation of 25.10.2001 N 136-FZ (as amended on 31.07.2025) (as amended and supplemented, intro. effective from 09/01/2025) // "ConsultantPlus". - URL:https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/
2. Decree of the Government of the Russian Federation dated 10/29/2021 N 3052-r On Approval of the Strategy for the socio-economic development of the Russian Federation with Low Greenhouse Gas Emissions until 2050 // "ConsultantPlus". - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/
3. State (national) report on the state and use of lands in the Russian Federation in 2024. Rosreestr. Moscow 2025. - URL:https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/
4. National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol for 1990-2017, 2019 - URL http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/
5. Voronezh Statistical Yearbook 2024 // "The official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Voronezh Region" - – URL: https://36.rosstat.gov.ru/folder/26769#
6. Report: acreage of major crops by farm category for 2024 // "Official website of the territorial body of the Federal State Statistics Service for the Voronezh Region" - [Electronic resource] – URL: https://36.rosstat.gov.ru/folder/32554?print=1
7. Odinaev, H. A. Ecological and economic regulation of nature management in agriculture / H. A. Odinaev. Moscow State University named after M. V. Lomonosov, Economics Department. Moscow : MAKS Press, 2004. 238 p.
8. Management of agricultural land use: a manageable ecosystem / V. V. Garmanov, A. R. Grik, V. V. Terleev, A. G. Osipov. – Text :direct // Bulletin of the Faculty of Land Management of St. Petersburg State Agrarian University. 2019.
9. Sharafutdinova, Z. A. Regulation of land use in the region : a monograph / Z. A. Sharafutdinova, M. N. Isyanbayev. Ufa : ISEI UNC RAS, 2010. 156 p.
10. IPCC, 2022: Annex II: Glossary [Möller, V., R. van Diemen, J.B.R. Matthews, C. Méndez, S. Semenov, J.S. Fuglestvedt, A. Reisinger (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability - – URL:https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/annex-ii/
11. FAO Land and Water Division retrieved 14 September 2010 - – URL:https://www.fao.org/land-water/home/en/

DOI: 10.58168/Forestry2025_344-348
УДК 338.1

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПЕРЕХОД К «ЗЕЛЕНОЙ» ЭКОНОМИКЕ ТЕРРИТОРИЙ ЦЧР В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В.И. Сухачева

Автономное учреждение Воронежской области «Институт стратегического развития»

Е.М. Филипповская

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация. На сегодняшний день, к наиболее значимым климатическим изменениям на территории Российской Федерации относится изменение среднегодовой температуры воздуха, увеличение количества осадков, рост суммарного годового стока рек.

Вышеизложенные климатические изменения провоцируют возникновение стихийных бедствий, проявляющихся в виде крупномасштабных волн жары, экстремальности режима осадков, шквалистого ветра, дыма от лесных пожаров, штормовых нагонов, ускоренной деградации ледников, увеличении максимальных расходов воды рек, сокращении продолжительности залегания снежного покрова, снижении несущей способности многолетнемерзлых пород. Совокупность данных вызовов, в следствии, негативно отражается на осуществлении хозяйственной деятельности.

Принимая во внимание тот факт, что значение климатических факторов все сильнее возрастает в обозримой перспективе, значительно актуализировалась необходимость поиска альтернативных инструментов социально-ориентированного развития. В разрезе обозначенных климатических изменений, данным инструментом выступает «зеленая экономика».

С учетом специфики промышленного и хозяйственного использования территорий центрально-черноземного региона, в целях предотвращения последствий негативного характера, связанных с климатическими изменениями указанных территорий, наиболее значимые факторы, обуславливающие необходимость перехода Воронежской области к «зеленой экономике» определяются сочетанием экономических, экологических, социальных и технологических групп.

Ключевые слова: «зеленая» экономика, факторы, переход, регион, Воронежская область.

THE MOST IMPORTANT FACTORS DETERMINING THE TRANSITION TO A «GREEN» ECONOMY OF THE CRF TERRITORIES UNDER CLIMATIC CHANGES

V.I. Sukhacheva

Autonomous Institution of the Voronezh Region «Institute for Strategic Development»

E.M. Filippovskaya

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

© Сукачева В. И., Филлиповская Е. М., 2025

Abstract. The most significant climatic changes in the territory of the Russian Federation include change in average annual air temperature, increase in rainfall and increase in total annual river flow. The mentioned climatic changes provoke the occurrence of natural disasters, manifested in large-scale heat waves, extreme rainfall regime, wind chill, smoke from forest fires, storm surges, accelerated degradation of glaciers, increase of maximum river water consumption, Reduction of the duration of snow cover, decrease in bearing capacity of perennially frozen rocks.

All this is a significant challenge in the implementation of economic activities. Taking into account the fact that climate factors are increasingly important in the foreseeable future, it is necessary to search for alternative tools of socially oriented development. In the context of identified climate change, such a tool is the «green economy».

Taking into account the specifics of industrial and economic use of the territories of the central Black Earth region, in order to prevent the consequences of a negative nature related to climate change in these territories, the most significant factors, The need for transition of the Voronezh region to the «green economy» is determined by a combination of economic, environmental, social and technological groups.

Keywords: «green» economy, factors, transition, region, Voronezh region.

К наиболее значимым климатическим изменениям, наблюдаемым в рамках территории Российской Федерации, относится изменение среднегодовой температуры воздуха (на 0,51°С в среднем каждые 10 лет). Также, отмечается увеличение количества осадков, а также увеличение суммарного годового стока рек [1].

Названные климатические изменения провоцируют возникновение стихийных бедствий, проявляющихся в виде крупномасштабных волн жары, экстремальности режима осадков, шквалистого ветра, дыма от лесных пожаров, штормовых нагонов, ускоренной деградации ледников, увеличении максимальных расходов воды рек Черноморского побережья, сокращении продолжительности залегания снежного покрова, снижении несущей способности многолетнемерзлых пород [1,2], что в следствии, является значимым вызовом в осуществлении хозяйственной деятельности и миграционных процессов не только в районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, но и в областях ЦФО. А именно, возникающих в результате опасных природных явлений изменениях на рынке труда, связанных с потерями рабочего времени, снижением производительности труда, вызванными экстремальными погодными условиями. Изменениях состояния здоровья населения и повышающихся нагрузках на систему здравоохранения. Потребностях в повышенном производстве энергии, ее передаче и потреблении. Разрушением инфраструктуры в связи с наводнениями и т.д.

Принимая во внимание тот факт, что роль климатических факторов все сильнее возрастает в обозримой перспективе, для регионов Центрально-Федерального округа необходимым выступает поиск альтернативных инструментов социально-ориентированного развития. В разрезе обозначенных климатических изменений таким инструментом выступает «зеленая экономика».

Целью перехода на «зеленую экономику» выступает создание устойчивой и экологически чистой экономики сначала региона, а затем и страны, способствующей достижению баланса между экономическим ростом и потребностями окружающей среды и социальными потребностями.

На сегодняшний день, единого подхода к трактовке понятия «зеленая экономика» не сформировано. Ряд ученых считает, что «зеленая экономика» представляет собой систему экономической деятельности, главной особенностью которой выступает рост экономики за счет рационального использования природных и топливно-энергетических ресурсов всех отраслей экономики страны, посредством чего обеспечивается снижение выбросов парниковых газов и вредных веществ [3].

Наиболее значимые направления «зелёной экономики» проиллюстрированы на рисунке 1.

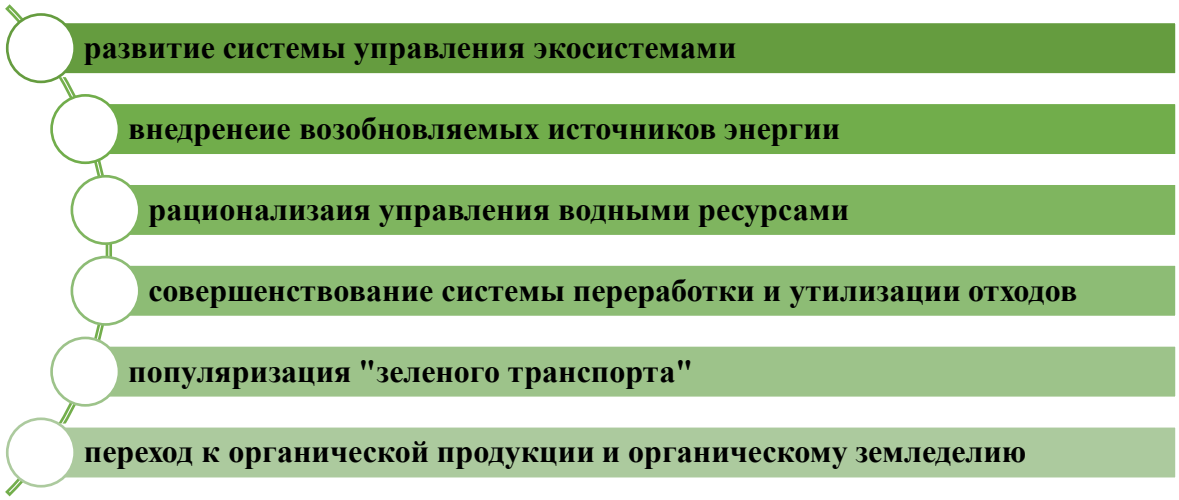


Рисунок 1 – Ключевые направления «зелёной экономики»

С учетом специфики промышленного и хозяйственного использования территорий центрально-черноземного региона, в рамках предотвращения последствий негативного характера, связанных с климатическими изменениями, указанных территорий, наиболее значимые факторы, обуславливающие необходимость перехода Воронежской области к «зеленой экономике» определяются совокупностью экономических, экологических, социальных и технологических групп.

К группе экономических факторов относятся:

- формирование политики устойчивого развития на государственном уровне, именно, создание и поддержка экономических механизмов и регулятивных инструментов, обеспечивающих переход к «зеленой» экономики, стимулирующих развитие ее основных направлений. Например, для стимулирования использования возобновляемых источников энергии на уровне региона и/или страны разрабатываются и вводят специальные экологические стандарты;

- стимулирование инвестиций в «зелёные» отрасли - энергетику, строительство, жилищно-коммунальное хозяйство. Характер осуществляемых инвестиций направлен на повышение энергоэффективности, обновление производственной базы предприятий, переход к альтернативным энергетическим источникам;

- развитие направления «зелёных» инвестиций и инноваций здесь основным инструментом выступают налоги и рыночные инструменты для преобразования потребительских предпочтений и стимулирования «зелёных» инвестиций.

К группе экологических факторов следует отнести:

- ограниченность природных ресурсов, поскольку современные объемы производственно-хозяйственной деятельности региона связаны с глобальным увеличением потребления энергии, воды, минеральных ресурсов и других природных материалов;

- угроза окружающей среде - загрязнение воды, почвы и воздуха, увеличение количества отходов в результате увеличивающихся масштабов деятельности;

- необходимость снижения экологического следа производственно-хозяйственной деятельности. Примером выступает переход на возобновляемые источники энергии, сокращение использования нефти и газа, повышение энергоэффективности производства и транспорта, переход на «зеленый» транспорт.

Группу социальных факторов образуют:

- общественный запрос на производство экологически устойчивых продуктов и услуг в регионе;

- изменение поведения и предпочтений потребителей, например, запрос на информацию о происхождении, экологическом и социальном следе продуктов;

- создание новых («зелёных») рабочих мест: речь идет о рабочих местах, способствующих сохранению или восстановлению окружающей среды в традиционных секторах (промышленность, строительство и т.д.), а также о создании новых, развивающихся зелёных секторов (возобновляемые источники энергии, энергоэффективность и т.д.).

К технологическим факторам перехода к «зеленой» экономики можно отнести:

- внедрение «зелёных» технологий в основные сферы производственно-хозяйственной деятельности региона. С учетом аграрной направленности Воронежской области, наиболее значимыми сферами, в первую очередь, выступят молочное, сахарное, мясное производство. Также сферы производства оборудования для нефтегазовой отрасли, электронный, авиастроительный, химический комплексы. Примером использования «зеленых» технологий по названным направлениям производства может выступать использование возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой, гидроэнергетики и геотермальной) энергии, которые позволяют снизить зависимость от ископаемых источников энергии и, что крайне важно и актуально на данный момент, снизить выбросы парниковых газов;

- внедрение кругового обращения с отходами - популяризация и расширение сфер использования безопасного и устойчивого обращения с отходами, переработка мусора в полезные материалы, применяемые в производственных комплексах в качестве сырья;

- внедрение в производство «зелёных» материалов - замена используемых материалов «зелёными» альтернативами, полученными из органических источников, включая пищевые и сельскохозяйственные отходы.

В продолжении исследования факторов перехода «зелёной» экономике в условиях климатических колебаний в рамках территории Центрально-Чернозёмного региона (ЦЧР), важно подчеркнуть необходимость синхронизации регионального планирования с глобальными тенденциями, а также их адаптации в рамках конкретной территории. В результате проведённого исследования мы выявили, что формирование устойчивой экономической деятельности хозяйствующих субъектов требует целостного рассмотрения взаимосвязи между экономическими, социальными и экологическими системами, а также разработки интегрированных инструментов, способствующих управлению последствиями климатических изменений.

В рамках интеграционного подхода, фундаментальную основу процесса перехода к «зеленой экономике» представляет формирование системы регионального управления, а именно: контроль и координацию реализации стратегии на уровне муниципалитетов. В рамках данного подхода, необходимо осуществление ряда таких мероприятий, как:

- разработка региональных стратегий;

- формирование надежных финансовых механизмов;

- формирование и развития институтов доверия, обеспечивающих прозрачность процесса реализации проекта.

Аккумулируя вышеизложенную информацию, можно сделать вывод о том, что с учетом особенностей производственно-хозяйственной деятельности и основных сферы промышленности центрально-черноземного региона, значительно актуализировалась потребность перехода к «зеленой» экономике, в рамках территории Воронежской области и страны в целом. На основании реализуемых исследований в сфере «зеленой» экономики, были сформулированы группы ключевых факторов, наиболее актуальных для анализируемой территории.

Важно отметить, что переход на «зеленую» экономику требует научного и информационно-аналитического обеспечения, а также адаптации экономики и населения страны к текущему состоянию и ожидаемым изменениям [2, 5]. Что в свою очередь, требует развития национальной системы климатического, экономического и социального обслуживания страны посредством использования передовых технологий, быстро развивающихся систем мониторинга, сложных физико-математических моделей наряду с применением научно-обоснованной интерпретации для прикладных целей «зеленой» экономики.

В рамках урегулирования поставленной задачи необходимо взаимодействие представителей различных областей науки, и скоординированные усилия представителей различных ведомств. Высококачественное обслуживание перехода на «зеленую» экономику невозможно без глубоких фундаментальных и прикладных исследований. При этом ответственность государства состоит в том, чтобы ответы на запросы со стороны населения никогда не выходили за пределы современных климатических условий.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 11 марта 2023 г. № 559-р «Об утверждении национального плана мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 г.»

2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.

3. Смотрова, Т. И. Реализация концепции «зеленая экономика» в Центрально-Черноземном регионе / Т. И. Смотрова, Т. С. Наролина // Эффективность организации и управления промышленными предприятиями: проблемы и пути решения : материалы V Международной научно- практической конференции, Воронеж, 15 марта 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 231-236. – EDN GWGDOI.

4. Реброва В. В. Институциональные условия и факторы перехода к «зеленой экономике»/ В. В. Реброва // Финансовые рынки и банки. - 2021. - №2. -С. 35 - 37.

5. Довбий И. П. «Новая индустриализация» в России как фактор перехода к «зеленой» экономике/ И. П. Довбий, А. Н. Дегтеренко, В. В. Кобылякова // Финансовый журнал. - 2020. - Т. 12. - № 4. - С. 85–100.

References

1. Order of the Government of the Russian Federation dated 11 March 2023. 559-p «On the approval of the national action plan for the second phase of adaptation to climate change until 2025.»

2. Third assessment report on climate change and its effects in the territory of the Russian Federation. General summary. - SPB.: Science-based technologies, 2022. - 124 p.

3. Svetova, T. I. Implementation of the concept of «green economy» in the Central-Black Earth region/ T. I. Svetova, T. S. Narolin // Effectiveness of organization and management of industrial enterprises: problems and solutions : materials of the V International scientific and practical conference, Voronezh, March 15, 2024. - Kursk: ZAO «University book», 2024. - S. 231-236. - EDN GWGDOI.

4. Rebrova V. V. Institutional conditions and factors of transition to the «green economy»/ V. V. Rebrova // Financial markets and banks. - 2021. - 2. -C. 35 - 37.

5. Dovbiy I. P. «New industrialization» in Russia as a factor of transition to «green» economy/ E. P. Dovbiy, A. N. Degerenko, V. V. Kobyalyakova // Financial journal. -2020. - T. 12. - 4. - S. 85-100.

DOI: 10.58168/Forestry2025_349-352
УДК 632.92

МАСШТАБЫ ДЕГРАДАЦИИ ТЕМНОХВОЙНОЙ ТАЙГИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНВАЗИИ ПОЛИГРАФА УССУРИЙСКОГО В ГРАНИЦАХ ЛЕСОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

С.М.Сультсон
к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник
научной лаборатории «Защита леса»
П.В.Михайлов
к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник
научной лаборатории «Лесных экосистем»
Н.Н.Кулакова
к.с.-х.н., старший научный сотрудник
научной лаборатории «Защита леса»
В.В.Попова
научный сотрудник
научной лаборатории «Защита леса»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»,
г. Красноярск, Россия

Аннотация.
В статье рассмотрена проблема масштабной гибели пихтовых древостоев в результате воздействия инвазивного короеда полиграфа уссурийского. На примере Красноярского края представлена динамика площадей повреждённых и погибших насаждений, очагов полиграфа уссурийского с 2009 по 2024 гг. Представлены современные проблемы системы ведения государственного лесопатологического мониторинга и назначения санитарно-оздоровительных мероприятий на уровне региона.

Ключевые слова: инвазия**,** полиграф уссурийский (*Polygraphus proximus* Blandford), пихта сибирская (*Abies sibirica)*, лесопатологический мониторинг, санитарное состояние темнохвойных лесов, проблемы лесоуправления

THE SCALE OF DEGRADATION OF DARK CONIFEROUS TAIGA AS A RESULT OF THE INVASION OF POLYGRAPH USSURIYSKY WITHIN THE FOREST BORDERS OF KRASNOYARSK REGION

S.M. Sultson
Candidate of agricultural sciences,
Leading researcher of the scientific laboratory «Forest Protection»
P.V. Mikhailov
Candidate of agricultural sciences,
Leading researcher of the scientific laboratory «Forest Ecosystems»
N.N. Kulakova
Candidate of agricultural sciences,
Senior researcher of the scientific laboratory «Forest Protection»
V.V. Popova
Researcher of the scientific laboratory «Forest Protection»
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

© Сультсон С. М., Михайлов П. В., Кулакова Н. Н., Попова В. В., 2025

Abstract. The article considers the problem of large-scale destruction of fir stands as a result of the impact of the invasive bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford. Using the example of Krasnoyarsk Krai, the dynamics of the areas of damaged and dead stands, foci of *Polygraphus proximus* Blandford from 2009 to 2024 are presented. Current problems of the system of conducting state forest pathology monitoring and the appointment of sanitary and health measures at the regional level are presented.

Keywords: invasion, *Polygraphus proximus Blandford*, *Abies sibirica*, forest pathology monitoring, sanitary condition of dark coniferous forests, forest management problems

В настоящее время на территории Красноярского края и других сибирских регионов одной из острых масштабных проблем является повреждения пихтовых древостоев инвазивным короедом полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus Blandford*). В результате воздействия происходит полная деградация лесной экосистемы (рисунок 1). В условиях современного изменения климата в границах региона ареал распространения инвайдера расширяется. На фоне этого в перспективе сохраняются риски и неопределенности развития ситуации, требующие новых управленческих решений отличных от стандартных в рамках действующей системы защиты лесов.

Рисунок 1 – Усыхание и гибель древостоев пихты сибирской в очагах полиграфа уссурийского

Жук-короед полиграф уссурийский - эндемик дальневосточной энтомофауны [2]. Повреждает пихтовые деревья любого возраста, преимущественно ослабленные, в том числе средний и крупный подрост. Характерной особенностью развития очагов данного вредителя в Красноярском крае является быстрая гибель деревьев [1]. Ориентировочно дерево гибнет примерно в течение 2–4 лет после первого нападения. В Красноярском крае был выявлен сравнительно недавно (2009-2010 гг.) на территории трех лесничеств: Козульское - 724,5 га, Ачинское – 753,5 га, и Боготольское – 474,6 га. Начиная с 2011 года, площадь его распространения постепенно увеличивалась, и в 2020 году охватила 37 лесничеств [6]. По данным Центра защиты леса Красноярского края на сегодняшний день количество лесничеств достигло 41 из 61. В 2025 году прогнозируется дальнейшее расширение ареала этого вредителя в северные и южные районы края, где сосредоточены наибольшие массивы пихтовых лесов – основной кормовой породы инвайдера. Динамика площадей повреждённых и погибших насаждений, а также очагов полиграфа уссурийского в период с 2009 по 2024 гг. представлены на рисунке 2.

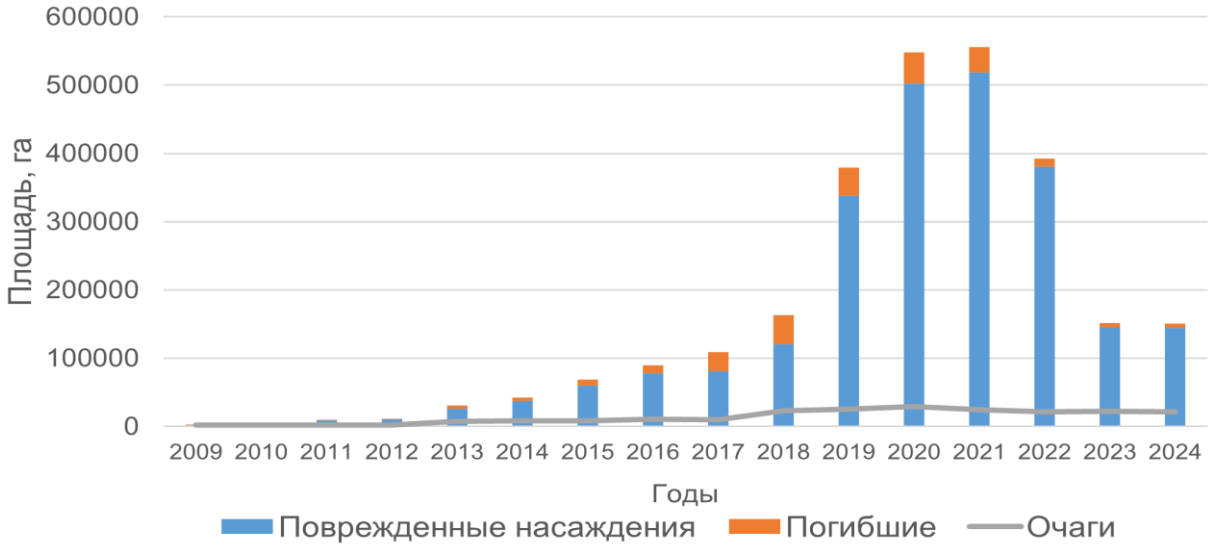


Рисунок 2 - Площади повреждённых и погибших насаждений, очагов полиграфа уссурийского по годам (по данным Центра защиты леса Красноярского края)

Положительная динамика в части сокращения площадей поврежденных насаждений в 2023-2024 гг. обусловлена изменениями подходов к ведению реестров государственного лесопатологического мониторинга (ГЛПМ) (исключены участки поврежденных насаждений, полученные по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)) [5].

На конец мая 2024 года площадь поврежденных и погибших лесов, в результате воздействия полиграфа уссурийского, по данным реестров ГЛПМ составляла 150,5 тыс. га. В тоже время по данным дистанционных наблюдений изменения санитарного и лесопатологического состояния насаждений, повреждения полиграфом уссурийским отмечено на площади более 500 тыс. га. Росту площади очагов инвайдера также способствует несвоевременность проведения или отсутствие санитарно-оздоровительных мероприятий (СОМ).

Ежегодное увеличение площади поврежденных и погибших лесов вследствие распространения очагов полиграфа уссурийского приводит не только к очевидной потере значительного количества коммерческой древесины, но и способствует накоплению больших запасов фаутной древесины, сопровождающееся ростом числа крупных лесных пожаров, эмиссий парниковых газов в атмосферу. В целом сложившаяся ситуация крайне негативно отражается на состоянии экосистемы на уровне региона.

На сегодняшний день инвазия полиграфа уссурийского в условиях сибирской темнохвойной тайги представляет особую опасность для существования пихты сибирской как вида в целом. В силу отсутствия эффективных методов борьбы и слабым участием энтомофагов в регуляции численности полиграфа уссурийского единственным способом защиты лесов с дальнейшим распространением является рубка свежезаселенных и поврежденных деревьев. Однако сложившаяся практика хозяйственных мер, с учетом требований нормативных документов фактически сводится к проведению уборки погибшего леса. В целях предотвращения дальнейшего распространения вредителя необходимы дополнительные изменения лесного законодательства в области защиты лесов [3, 4]. Поправки должны касаться возможности назначения и проведении рубки деревьев пихты сибирской, независимо от категории санитарного состояния, заселенных полиграфом уссурийским (начиная со второй категории состояния дерева). Своевременное проведение санитарно-оздоровительных мероприятий в целях локализации очагов инвайдера позволит избежать утраты функциональной устойчивости насаждений и сохранить их ресурсный потенциал.

Благодарности: *Авторы выражают искреннюю благодарность Филиалу ФБУ «Рослесозащита» Центру защиты леса Красноярского края, Министерству природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края за консультации и предоставленную информацию.*

Финансирование: *Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-20091, https://rscf.ru/project/25-16-20091/*

Acknowledgments: *The authors express their sincere gratitude to the Branch of the Federal State Budgetary Institution "Roslesozashchita" Center for Forest Protection of Krasnoyarsk Krai, the Ministry of Natural Resources and Forestry Complex of Krasnoyarsk Krai for consultations and information provided.*

Funding: *The study was supported by grant No. 25-16-20091 from the Russian Science Foundation, https://rscf.ru/project/25-16-20091/*

Список литературы

1. Баранчиков Ю.Н., Демидко Д.А., Лаптев А.В., Петько В.М. Динамика отмирания деревьев пихты сибирской в очаге уссурийского полиграфа. Вестник Московского государственного университета леса // Лесной вестник, 2014. – 6(18). – С.132-138.

2. Бисирова Э.М. Распространение уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Bland. в России // Фитосанитария. Карантин растений. – 2024. – № 1 S (18). – С.12.

3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 09.11.2020 №912 «Об утверждении Правил осуществления мероприятий по предупреждению распространения вредных организмов». – URL: https://docs.cntd.ru/document/573116160o567679783 (дата обращения: 21.04.2025)

4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 9 ноября 2020 г. N 913 «Об утверждении Правил ликвидации очагов вредных организмов». – URL: https://docs.cntd.ru/document/573140203

5. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства «Рослесхоз» от 31.05.2023 № 706 «Об утверждении порядка реестров государственного лесопатологического мониторинга». – URL: https://gog.su/knLw (дата обращения: 21.04.2025)

6. Результаты государственного лесопатологического мониторинга. Федеральное агентство лесного хозяйства России «Рослесхоз». – URL: https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest_security_and_protection/stat (дата обращения: 21.04.2025)

References

1. Baranchikov Yu.N., Demidko D.A., Laptev A.V., Petko V.M. Dynamics of dying Siberian fir trees in the focus of the Ussuri polygraph. Bulletin of the Moscow State University of Forests // Lesnoy Vestnik, 2014. – 6(18). – Pp.132-138.

2. Bisirova E.M. The spread of the Ussuri polygraph Polygraphus proximus Bland. in Russia // Phytosanitary. Quarantine of plants. – 2024. – № 1 S (18). – p.12.

3. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated 09.11.2020 No. 912 "On approval of the Rules for the implementation of measures to prevent the spread of harmful organisms". – URL: https://docs.cntd.ru/document/573116160o567679783 (date of request: 04/21/2025)

4. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 913 dated November 9, 2020 "On Approval of the Rules for the Elimination of foci of harmful organisms". – URL: https://docs.cntd.ru/document/573140203

5. Order of the Federal Forestry Agency "Rosleskhoz" dated 05/31/2023 No. 706 "On approval of the procedure for registers of state forest pathology monitoring". – URL:https://gog.su/knLw (date of request: 04/21/2025)

6. Results of the state forest pathology monitoring. Federal Forestry Agency of Russia "Rosleskhoz". – URL: https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest_security_and_protection/stat (date of request: 04/21/2025)

DOI: 10.58168/Forestry2025_353-360
УДК 330.31

ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В ЛЕСНОМ СЕКТОРЕ РЕГИОНА: ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ И ПЛАТЕЖЕЙ ЗА ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ

М.В. Терёшина
д.э.н., профессор кафедры государственной политики и государственного управления
Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия
Е.А. Яковлева
д.э.н., заведующий кафедрой мировой и национальной экономики
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация: В статье рассматривается трансформация линейной экономики лесного сектора в экономику замкнутого цикла. Основное внимание уделено анализу двух перспективных направлений: сервисно-ориентированных бизнес-моделей (сервизация) и механизмов платежей за экосистемные услуги. Исследуется их региональный потенциал для создания добавленной стоимости, повышения устойчивости лесопользования, снижения экологического следа и формирования новых источников дохода для лесного сектора.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла, сервизация, экосистемные услуги, платежи

CIRCULAR ECONOMY IN THE FOREST SECTOR OF THE REGION: ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF SERVICE-ORIENTED MODELS AND PAYMENTS FOR ECOSYSTEM SERVICES

M.V. Tereshina
Doctor of Economics, Professor of the Department of Public Policy and Public Administration
Kuban State University, Krasnodar, Russia
E.A. Yakovleva
Doctor of Economics, Head of the Department of World and National Economics
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract: The article examines the transformation of the linear economy of the forest sector into a closed-loop economy. The main attention is paid to the analysis of two promising areas: service-oriented business models (servification) and payment mechanisms for ecosystem services. Their regional potential for creating added value, increasing the sustainability of forest management, reducing the ecological footprint and generating new sources of income for the forest sector is being explored.

Key words: circular economy, servification, ecosystem services, payments

Проблема традиционной (линейной) модели в лесном секторе заключается в ее неустойчивости, связанной, прежде всего, с истощением ресурсов, поскольку добыча древесины зачастую ведется темпами, превышающими естественное восстановление лесов, что приводит к их деградации и сокращению. На каждом этапе переработки (заготовка, распиловка, производство) образуется низкосортная древесина, опилки, кора, щепа, которые

© Терёшина М. В., Яковлева Е. А., 2025

часто не используются эффективно, сжигаются или просто захораниваются, что наносит вред окружающей среде и представляют собой утрату потенциальной стоимости. Теряется биоразнообразие вследствие интенсивного лесопользования без учета экологических аспектов разрушения мест обитания многих видов растений и животных. Предприятия, чей доход зависит от продажи пиломатериалов, сильно подвержены колебаниям цен на эту продукцию, что делает их финансовое положение нестабильным.

В своем исследовании Кваша Н.В., Малевская-Малевич Е.Д., Кудряшов В.С. подчеркивают, что успешная трансформация механизмов обеспечения эффективности в условиях циркулярной экономики требует комплексного подхода, включающего инновации, регуляторные изменения и новую бизнес-логику [1]. Толстогузов О.В. рассматривает классификацию основных подходов к монетизации природного капитала – процесса оценки и преобразования природных ресурсов и экосистемных услуг в экономические показатели и денежные величины, выделяет, что выбор подхода зависит от цели оценки, доступности данных и специфики экосистемных услуг [2]. Статья Кирей В.В., Козлитиной О.М. посвящена анализу факторов и методов, способствующих повышению инвестиционной привлекательности сектора лесных экосистемных услуг как комплекса экономических выгод, которые предоставляют леса, включая поглощение углерода, биоразнообразие, рекреацию и др. [3]. Самцова Д.В. показывает, что использование экосистемных услуг как стратегического ресурса помогает развивать экономику замкнутого цикла за счет сокращения потребления не возобновляемых ресурсов. Проведение комплексной политики должно предусматривать оценку и мониторинг экосистемных функций для принятия эффективных управленческих решений и стимулирования зеленых инвестиций [4]. Системный подход Каштелян Т.В. включает оптимизацию цепочек поставок и переработки, развитие устойчивого лесоуправления, инновации и новые бизнес-модели, государственное регулирование и поддержку [5]. Бобылев С.Н. и соавторы доказывают, что экосистема устойчивого развития объединяет такие сектора, как экономику, экологию, социальную сферу, технологии и институты, направленные на долгосрочное сохранение ресурсов и повышение качества жизни. Выделяются тренды цифровизации, перехода на зеленую энергетику, формирования циркулярной экономики, развития «зеленых» финансов и устойчивых бизнес-моделей [6,7].

В рамках внедрения принципов экономики замкнутого цикла в лесном секторе предлагаются мероприятия, связанные с сохранением природного капитала, цикличностью потоков материалов (использование отходов, рециклинг), повышением эффективности и созданием стоимости от услуг, которые предоставляет лес. Речь идет не только о сбережении существующих лесов, но и об управлении ими таким образом, чтобы повышать их экологическую ценность и устойчивость. Это включает ответственные методы лесозаготовки, лесовосстановление и охрану биоразнообразия. Цикличность материальных потоков направлена на ликвидацию понятия «отходы». Все побочные продукты лесного сектора должны рассматриваться как ресурсы для других процессов. Опилки и щепа могут стать сырьем для производства пеллет, биоэнергии или композитов; кора и щепа используются в ландшафтном дизайне. Рециклинг и повторное использование древесины после окончания ее жизненного цикла (например, мебель или строительные конструкции) также является частью этого принципа. Экономика замкнутого цикла предлагает извлекать ценность не только из древесины как материального актива, но и из тех услуг и функций, которые предоставляет лесная экосистема. Это позволяет создать новые, более стабильные источники дохода.

Ключевыми ориентирами для внедрения экономики замкнутого цикла в лесном секторе выступают два подхода – сервизация (переход от продажи товаров к продаже услуг) и платежи за экосистемные услуги. Сервизация означает переход от продажи древесины или пиломатериалов к предоставлению услуг с их использованием. Производитель (поставщик) сохраняет право собственности на продукт и отвечает за его обслуживание, ремонт и утилизацию. Клиент платит регулярную плату за доступ к функциям этого продукта. Как следствие того что компании зарабатывают на длительном использовании и обслуживании продукта, а не на разовой продаже, у них появляется прямая финансовая заинтересованность

в создании продуктов, которые долговечны, работают дольше и не требуют частой замены; ремонтопригодны, то есть легко и экономически выгодно ремонтировать и обслуживать; перерабатываемы, после окончания срока службы материалы можно эффективно пустить во вторичный оборот, что снижает затраты и воздействие на окружающую среду. Примером бизнес-модели сервизации в лесном секторе может служить лизинг/аренда продукции из дерева, а именно деревянная строительная опалубка, мебель для офиса или складские поддоны не продаются, а предоставляются как услуга в виде аренды на необходимое время с полным сервисным сопровождением (доставка, установка, ремонт, замена, вывоз и переработка после использования). На основе долгосрочного контракта на обслуживание компания сама подбирает и высаживает деревья, ухаживает за ними, используя свои материалы, и получает оплату за достижение оговоренного результата. При продаже продукта как услуги компания, устанавливая высококачественные деревянные окна или двери, гарантирует их работоспособность, выполняет все виды ремонта и обслуживания для продления долговечности, а в конце жизненного цикла забирает их для реставрации или переработки, устанавливая новые. При этом клиент вносит ежемесячную абонентскую плату. Использование концепции шеринг-экономики в лесном секторе может выражаться в предоставлении временных услуг по использованию мебели, строительных конструкций и даже целых зданий. Например, коворкинги и гостиницы из сборных деревянных модулей, как временно используемые помещения, построенные из экологически чистых материалов, с возможностью быстрой разборки и переноса конструкции; обмен старой мебели на новую и организация переработки устаревших конструкций.

Выгоды для бизнеса от реализации модели замкнутого цикла заключаются в получении постоянного потока дохода, сохранения права собственности на материал, стимул к созданию качественной продукции; для клиентов открывается доступ к качественным материалам без высоких первоначальных затрат, отсутствие проблем с утилизацией. Решение экологических проблем происходит через снижение потребления первичной древесины, минимизации отходов.

Кроме того, получает развитие аренда лесных территорий для организации рекреационной деятельности (экотуризм, кемпинги, глэмпинги, велнес-ретриты, образовательные программы, агротуризм). В результате появляется дополнительный стабильный доход, бизнес диверсифицируется, создаются дополнительные рабочие места, повышается ценность живого леса и создаются стимулы к его сохранению.

Платежи за экосистемные услуги представляется механизмом, при котором пользователи (бенефициары) этих услуг платят тем, кто ими управляет. Применительно к лесному сектору экосистемные услуги включают:

1. Регулирование климата через секвестацию углерода. Леса играют ключевую роль в смягчении последствий изменения климата благодаря способности поглощать углерод в древесине, почве и растительности. Это позволяет снижать концентрацию парниковых газов, способствуя стабилизации глобальных климатических изменений. Программы REDD+ предусматривают выплаты странам и сообществам за предотвращение вырубки лесов и лесных массивов. Крупные корпорации инвестируют в программы по высадке деревьев и лесовосстановлению, получая кредиты за поглощение углекислого газа и сокращению своего углеродного следа.

2. Лесные экосистемы способствуют улучшению качества атмосферного воздуха и водных ресурсов, фильтруя загрязнители и вредные вещества. Деревья выделяют кислород, снижают содержание вредных примесей в воздухе, а корневая система задерживает осадки, очищая воду перед попаданием в водоемы. Проекты по агролесомелиорации, восстановлению лесов вдоль берегов рек и озер требуют адекватного финансирования и субсидирования.

3. Лесные экосистемы обеспечивают сохранение биологического разнообразия, поскольку леса служат средой обитания для множества видов животных, растений и микроорганизмов, поддерживающих баланс экосистем. Механизм оплаты за экосистемные

услуги становится все более популярным способом привлечения дополнительных средств при создании особо охраняемых природных территорий.

4. Леса предоставляют уникальные возможности для отдыха, туризма и оздоровления населения. Организация туристических маршрутов, экскурсионных программ, размещение информационных центров и эколагерей приносит дополнительный доход охраняемым территориям.

Итак, приходим к выводу, что сервизация и платежи за экосистемные услуги представляют собой два разных подхода к управлению природными ресурсами и устойчивому развитию. Сервизация рассматривается как бизнес-модель, ориентированная на предоставление услуг вместо товаров, на взаимодействие бизнеса с потребителями, предлагающая альтернативные модели потребления. Платежи за экосистемные услуги реализуют экономический механизм, направленный на компенсацию ущерба природе и стимулирование сохранения и восстановления природных ресурсов. Матрица сравнения подходов сервизации и платежей за экосистемные услуги представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица сравнения подходов сервизации и платежей за экосистемные услуги

Параметры	Сервизация	Платежи за экосистемные услуги
Цель	Переход от продажи товаров к оказанию услуг	Оплата за предоставление экосистемных услуг
Участники	Производители, потребители	Пользователи (бенифициары), поставщики услуг
Механизмы	Продажа сервисов вместо продукции	Вознаграждение за выполнение экосистемных функций
Прямой экономический эффект	Увеличение выручки от новых услуг	Дополнительная прибыль от продажи услуг
Долгосрочные выгоды	Сокращение затрат на материалы	Устойчивое развитие, защита окружающей среды
Затраты на внедрение	Инвестиции в инфраструктуру, обучение персонала	Организационные расходы, оценка экосистемных услуг

Несмотря на различия, оба подхода направлены на достижение общей цели и при этом дополняют друг друга в управлении лесами. Сервизация стимулирует инновационное мышление и изменения в структуре потребительского поведения, уменьшая нагрузку на природные ресурсы и повышая эффективность использования древесины. Платежи за экосистемные услуги позволяют обеспечить финансирование и стимулы для сохранения и восстановления природных экосистем, поддерживая экологический баланс и биоразнообразие.

Синергия моделей сервизации и платежей за экосистемные услуги в лесном секторе способна значительно повысить как экономические выгоды, так и экологическую устойчивость. Сервизация предполагает продление жизненного цикла продукции и снижение объемов потребления природных ресурсов, что уменьшает давление на лесные экосистемы; открывает возможности компаниям дифференцироваться на рынке, предлагая уникальные решения и улучшенные условия обслуживания, что повышает их конкурентоспособность; формирует доверительное отношение клиентов, поскольку они видят заботу производителя о качестве продукции и ее долговечности; обеспечивает стабильный денежный поток за счет регулярных платежей клиентов за пользование услугами, а не разовых покупок.

Платежи за экосистемные услуги создают экономические стимулы для поддержания и улучшения состояния лесов, включая восстановление поврежденных лесов и обеспечение защиты биоразнообразия; помогают бизнесу покрывать дополнительные расходы на экологизацию процессов и инвестиции в природоохранные мероприятия; подчеркивают

социальную ответственность бизнеса перед обществом и природой, что положительно сказывается на восприятии бренда и усиливает доверие потребителей; позволяют компенсировать затраты на экологическое оздоровление и защиту лесов, снижая риски, связанные с ухудшением качества природных ресурсов и потерями вследствие деградации экосистем.

Синергия моделей сервизации и платежей за экосистемные услуги связана с созданием устойчивой и эффективной системы управления лесами, сочетающей экономические выгоды и экологическую безопасность. Сервизация способствует снижению нагрузки на природные ресурсы и увеличению продолжительности жизни продукции, тогда как платежи за экосистемные услуги поддерживают здоровое состояние лесных экосистем и компенсируют затраты на экологические инициативы.

Таким образом, сочетание этих двух подходов создает условия для сбалансированного использования лесных ресурсов, минимизируя негативное воздействие на природу и одновременно обеспечивая стабильный доход для бизнеса. Сервизация способствует снижению давления на природные ресурсы через изменения структуры спроса и предложения, а платежи за экосистемные услуги обеспечивают финансовую поддержку и мотивацию для сохранения и восстановления лесных экосистем.

Несмотря на расширение мирового опыта и признание значимости платежей за экосистемные услуги, этот механизм пока не получил широкого распространения в российской экономике и отсутствует в официальной статистике как показатель. Поскольку происходят значимые изменения в подходе к управлению природными ресурсами, включая лесное хозяйство, то введение платежей за экосистемные услуги может сыграть ключевую роль в формировании новой парадигмы устойчивого развития.

К причинам, сдерживающим распространение платежей за экосистемные услуги, относятся отсутствие четкой правовой базы и нормативно-правового регулирования, регламентирующие порядок и правила осуществления платежей за экосистемные услуги. Механизмы платежей за экосистемные услуги требуют наличия развитых финансовых инструментов и институтов, способных обеспечивать прозрачность, справедливость и доступность платежей [8]. Отсутствует единая научно обоснованная методика оценки стоимости различных экосистемных услуг. Для наглядного представления ключевых проблем при внедрении сервизации и платежей за экосистемные услуги проведем структурирование в виде таблицы 2.

В Лесном Кодексе и федеральном законодательстве нет четкого понятия «экосистемная услуга» и механизмов оплаты за нее. Лес воспринимается в первую очередь как источник древесины. Это главный институциональный барьер. К этой категории можно отнести неопределенность прав собственности и пользования услугами. Остаются нерешенными вопросы: кто является поставщиком услуги (государство, арендатор), кто является плательщиков (туристы, водоканалы, промышленные предприятия, региональный бюджет), как распределять полученные средства? Для большинства лесопользователей доход от продажи древесины является самым простым и понятным. Переход на сервисную модель требует инвестиций и несет риски. Существующие методики оценки стоимости оценки услуг сложны и не стандартизированы, не позволяют объективно оценить стоимость чистого воздуха, предотвращенного оползня или сохраненного вида. Сформированный рынок отсутствует, нет платформ для торговли углеродными единицами или иными услугами, пилотные проекты (например, карбоновые полигоны) носят единичный характер. Бюджетное финансирование лесного хозяйства традиционно направленно на противопожарные мероприятия и лесовосстановление, а не на развитие сервисных функций.

В силу природно-географических и отраслевых особенностей Краснодарского края леса Черноморского побережья и Кавказских гор испытывают высокую рекреационную нагрузку от неорганизованного туризма. Это приводит к деградации экосистем, но при этом нет механизма, который бы переводил этот рекреационной спрос в финансовые потоки на поддержание леса. Значительную часть лесов края составляют защитные леса, где

промышленные рубки ограничены или запрещены. Это создает потенциал для сервизации, но механизмов для этого нет. Высокая доля малоценных лиственных пород снижает интерес арендаторов к ведению классического лесного хозяйства и может стать стимулом к переходу на сервисную модель. Также рекреационная деятельность значительно повышает риски возникновения пожаров, что увеличивает затраты на охранку лесов.

Таблица 2 – Классификация проблем внедрения сервизациии и платежей за экосистемные услуги

Блок проблем	Вид проблемы	Описание проблемы
Научные и методологические	Проблема измерения и количественной оценки	Сложность точного измерения объема поглощенного углерода, фильтрации воды и предотвращения эрозии
	Отсутствие базовых показателей (базлайнов)	Необходимость определения исходного состояния для оценки эффекта
	Проблема дополнительности	Определение дополнительного эффекта, стимулирующего новые меры по сохранению
	Неаддитивность и синергия услуг	Улучшение одних экосистемных услуг может негативно влиять на другие
Экономические и рыночные	Создание рынка	Трудности в организации спроса и предложения, необходимость посредников
	Определение цены	Установление справедливой цены за услугу: себестоимость или ущерб от ее отсутствия
	Высокие трансакционные издержки	Значительные расходы на организацию, мониторинг и администрирование
	Риски и неопределенность	Долговременные обязательства сопряжены с рисками изменения условий и обстоятельств
Правовые и институциональные	Нечеткость прав собственности	Отсутствие четкого определения собственников и владельцев ресурсов
	Отсутствие законодательной базы	Нет нормативных актов, регулирующих платежи за экосистемные услуги и налогообложение
	Коррупционные риски	Опасность злоупотреблений при распределении платежей и выборе исполнителей
	Межведомственная разобщенность	Разделение полномочий между различными ведомствами препятствует координации действий

Определенным барьером для внедрения сервисно-ориентированных моделей в лесное хозяйство Краснодарского края являются низкая осведомленность населения и бизнеса, доминирующий менталитет, при котором блага природы воспринимаются как «бесплатные», сложно продвинуть нововведение, при котором турист платит за вход в национальный парк сверх существующих скромных сборов или водоканал платит лесхозам за охрану водосборных бассейнов. Лесозаготовители могут видеть в этой модели угрозу своему бизнесу, например, через введение дополнительных ограничений.

В тоже время благодаря своей уникальности Краснодарский край способен стать площадкой для пилотных проектов внедрения платежей за экосистемные услуги, включая:

- развитие Геленджикского карбонового полигона;

- создание механизма, при котором предприятия водоснабжения городов Сочи, Туапсе, Краснодар часть платежей направляют на финансирование мероприятий по охране лесов и водосборных бассейнов;

- внедрение прозрачной системы платного посещения наиболее популярных рекреационных объектов, с направлением средств на их обустройство и охрану;

- разработку региональной нормативной базы и программ, стимулирующих платежи за экосистемные услуги;

- создание условий для привлечения частных инвестиций в экотуризм, инфраструктуры для отдыха с обязательными условиями по сохранению экосистем;

- проведение просветительских акций о ценности экосистемных услуг, как таковых, и платежей за экосистемных услуги в цепочке добавленных стоимостей.

На основании вышеизложенного приходим к выводу о большом потенциале сервисно-ориентированных моделей и платежей за экосистемные услуги лесного сектора Краснодарского края, реализация которого затрудняется не отсутствием спроса на экосистемные услуги, а несформированностью адекватных рыночных и институциональных механизмов, включающих в том числе политическую волю, законодательные инициативы и пилотные проекты. Сервизация и платежи за экосистемные услуги в лесном секторе Краснодарского края способствуют балансированию экономических интересов и экологической устойчивости, оптимизации использования лесных ресурсов, сохранению биоразнообразия и усиливает вклад лесов в адаптацию к климатическим изменениям.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РНФ и КНФ в рамках конкурса 2024 «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами (региональный конкурс), 24-18-20049 «Региональная система экономики замкнутого цикла: институциональные модели и технологии развития (на примере Краснодарского края)».

Список литературы

1. Кваша, Н. В. Трансформация механизмов обеспечения эффективности в условиях циркулярной экономики / Н. В. Кваша, Е. Д. Малевская-Малевич, В. С. Кудряшов // Экономическое возрождение России. – 2024. – № 1(79). – С. 64-74. – DOI 10.37930/1990-9780-2024-1-79-64-74.

2. Толстогузов, О. В. типология подходов к монетизации природного капитала / О. В. Толстогузов // Фундаментальные исследования. – 2023. – № 6. – С. 53-58. – DOI 10.17513/fr.43471.

3. Кирей, В. В. Повышение инвестиционной привлекательности сектора лесных экосистемных услуг / В. В. Кирей, О. М. Козлитина // Финансовая экономика. – 2023. – № 8. – С. 116-119.

4. Самцова, Д. В. Экосистемные услуги и развитие экономики замкнутого цикла / Д. В. Самцова // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2025. – № 1(292). – С. 84-91. – DOI 10.52065/2520-6877-2025-292-10.

5. Каштелян, Т. В. Системная трансформация модели экономики лесного сектора Беларуси в циркулярную / Т. В. Каштелян // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2024. – № 2(286). – С. 29-34. – DOI 10.52065/2520-6877-2024-286-4.

6. Экосистема устойчивого развития: глобальный вызов и стратегический тренд XXI столетия / А. Ю. Манюшис, С. Н. Бобылев, Д. Н. Кавтарадзе, А. Н. Цедилин // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2022. – Т. 235, № 3. – С. 315-336. – DOI 10.38197/2072-2060-2022-235-3-315-336.

7. Бобылев, С. Н. Циркулярная экономика и ее индикаторы для России / С. Н. Бобылев, С. В. Соловьева // Мир новой экономики. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 63-72. – DOI 10.26794/2220-6469-2020-14-2-63-72.

8. Терешина М.В. Экономика замкнутого цикла в сельскохозяйственном производстве: потенциал реализации в новых институциональных условиях / М.В. Терешина, С.Г. Тяглов, Е.В. Атамась // Регионология. – 2024. – Т. 32, – № 4. – С. 635–652. https://doi.org/10.15507/2413 1407.129.032.202404.635-652

References

1. Kvasha, N. V. Transformation of efficiency mechanisms in a circular economy / N. V. Kvasha, E. D. Malevskaya-Malevich, V. S. Kudryashov // The economic revival of Russia. – 2024. – № 1(79). – Pp. 64-74. – DOI 10.37930/1990-9780-2024-1-79-64-74.

2. Tolstoguzov, O. V. Typology of approaches to monetization of natural capital / O. V. Tolstoguzov // Fundamental research. – 2023. – No. 6. – pp. 53-58. – DOI 10.17513/number 43471.

3. Kirey, V. V. Increasing the investment attractiveness of the forest ecosystem services sector / V. V. Kirey, O. M. Kozlitina // Financial Economics. – 2023. – No. 8. – pp. 116-119.

4. Samtsova, D. V. Ecosystem services and the development of a closed-loop economy / D. V. Samtsova // Proceedings of BSTU. Series 5: Economics and Management. – 2025. – № 1(292). – Pp. 84-91. – DOI 10.52065/2520-6877-2025-292-10.

5. Kashtelyan, T. V. Systemic transformation of the Belarusian forest sector economy model into a circular one / T. V. Kashtelyan // Proceedings of BSTU. Series 5: Economics and Management. – 2024. – № 2(286). – Pp. 29-34. – DOI 10.52065/2520-6877-2024-286-4.

6. Ecosystem of sustainable development: a global challenge and a strategic trend of the 21st century / A. Y. Manyushis, S. N. Bobylev, D. N. Kavtaradze, A. N. Tsedilin // Scientific Proceedings of the Free Economic Society of Russia. – 2022. – Vol. 235, No. 3. – pp. 315-336. – Doi 10.38197/2072-2060-2022-235-3-315-336.

7. Bobylev, S. N. Circular economy and its indicators for Russia / S. N. Bobylev, S. V. Solovyova // The world of the new economy. 2020. Vol. 14, No. 2. pp. 63-72. – DOI 10.26794/2220-6469-2020-14-2-63-72.

8. Tereshina M.V. Closed-loop economics in agricultural production: the potential for implementation in new institutional conditions / M.V. Tereshina, S.G. Tyaglov, E.V. Atamas // Regionology. – 2024. – Vol. 32, – No. 4. – pp. 635-652. https://doi.org/10.15507/2413 1407.129.032.202404.635-652

DOI: 10.58168/Forestry2025_361-369
УДК 338.24

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ БИОЭКОНОМИКОЙ: ЗАРУБЕЖНЫЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ

В. А. Чаплыгина

студент кафедры «Региональная экономика и менеджмент»,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Ю. С. Положенцева

заведующая кафедрой «Региональная экономика и менеджмент», доцент, к.э.н.,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Аннотация.
В условиях климатических изменений, ресурсных ограничений и усиления технологической конкуренции биоэкономика выступает одним из приоритетных направлений устойчивого развития. Она объединяет достижения биотехнологий, рациональное использование возобновляемых ресурсов и экологическое регулирование, формируя новую модель взаимодействия экономики и природы. В международной практике складываются различные концепции управления биоэкономикой: от акцента на инновации и наукоемкие технологии до приоритета циркулярных моделей и охраны экосистем. Это многообразие показывает, что универсальной модели биоэкономического развития не существует, каждая страна формирует собственный путь с учетом ресурсного потенциала и стратегических целей. В этой связи актуальным становится сравнительный анализ подходов, позволяющий выявить сильные и слабые стороны национальных стратегий и адаптировать успешный зарубежный опыт к российским условиям.

Ключевые слова: биоэкономика, устойчивое развитие, биотехнологии, возобновляемые ресурсы, циркулярная экономика, управление.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIOECONOMY MANAGEMENT CONCEPTS: FOREIGN AND RUSSIAN EXPERIENCE

V. A. Chaplygina

Student, Department of Regional Economics and Management, Southwestern State University, Kursk, Russia

Y. S. Polozhentseva

Head of the Department of Regional Economics and Management, Associate Professor, Candidate of Economic Sciences, Southwestern State University, Kursk, Russia

Abstract.
In the context of climate change, resource constraints, and increasing technological competition, bioeconomics has become a priority for sustainable development. This field combines

© Чаплыгина В. А., Положенцева Ю. С., 2025

the achievements of biotechnology with the rational use of renewable resources and environmental regulations, creating a new model for interaction between the economy and the environment.

In international practice, different approaches to bioeconomy management have emerged. Some emphasize innovation and high-tech solutions, while others prioritize circular models and protecting ecosystems. This diversity demonstrates that there is no one-size-fits-all model for bioeconomic development. Each country forms its own approach, considering its unique resource potential and strategic objectives.

Therefore, it is important to conduct a comparative analysis of different approaches, allowing us to identify strengths and weaknesses in national strategies. This analysis can also help us adapt successful foreign experiences to the Russian context.

Keywords: bioeconomics, sustainable development, biotechnology, renewable resources, circular economy, management, international experience, Russia.

В условиях глобальных вызовов, таких как изменение климата, истощение ископаемых ресурсов и растущее давление на природные экосистемы, мировое сообщество находится в активном поиске моделей устойчивого развития. Эти модели призваны обеспечить сбалансированное взаимодействие между человеческой деятельностью, производственными системами и окружающей средой. Одним из ключевых ответов на эти вызовы стала биоэкономика, которая рассматривается как стратегический вектор для перехода к более устойчивому и ресурсоэффективному будущему. На сегодняшний день более 50 стран мира приняли национальные стратегии в области биоэкономики, стремясь максимизировать преимущества биотехнологий и возобновляемых ресурсов. Истоки этого движения можно проследить еще в 2000 году, когда Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций предложила ключевые ценности и принципы эффективного управления природными ресурсами [5]. В контексте поиска баланса между экономическим ростом и экологической стабильностью особый научный и практический интерес представляет сравнительное исследование концепций управления биоэкономикой. Центральным понятием в данном исследовании является биоэкономика.

Биоэкономика - экономика возобновления природных ресурсов в производстве продуктов питания, товаров и услуг. Биоэкономика тесно интегрирована с концепцией «зелёной экономики», направленной на снижение экологических рисков и обеспечение социальной справедливости, а также с принципами циркулярной экономики, фокусирующейся на повышении ресурсоэффективности, минимизации отходов и каскадном использовании биомассы [6]. В странах ЕС широко применяется термин «циркулярная биоэкономика», который объединяет оба подхода и подчёркивает необходимость перехода от традиционной линейной модели «производить-использовать-выбрасывать» к устойчивому циклу [10]. Многообразие подходов к определению этого динамично развивающегося понятия иллюстрирует таблица 1.

Таблица 1 - Определение биоэкономики в современном конкурентном обществе

Автор	Определение
Международный консультативный совет по биоэкономике (IACB, International Advisory Council on Global Bioeconomy)	Биоэкономика – это производство, использование, сохранение и регенерация биологических ресурсов, включая связанные с ними знания, науку, технологии и инновации, для предоставления устойчивых решений во всех секторах экономики и между ними, что позволяет осуществить переход к устойчивой экономике

Организация экономического сотрудничества и развития	Биоэкономика – это мир, в котором биотехнологии вносят значительный вклад в экономическую продукцию. Она опирается на биотехнологические знания, возобновляемую биомассу и интеграцию различных видов практических проявлений биоэкономики
Европейский союз	Биоэкономика – это использование возобновляемых биологических ресурсов земли и моря, включая растения, животных, микроорганизмы и органические отходы, для производства продуктов питания, материалов и энергии, а также интеграция всех секторов экономики, зависящих от биологических ресурсов
Николас Джорджеску-Роген (1975)	Биоэкономика рассматривает экономику через призму природных законов, стремясь к минимизации отходов и ограничению бесконтрольного роста ресурсов, опираясь на биологические принципы
БИО-2020	Биоэкономика определяется как экономика, основанная на системном использовании биотехнологий

Источник: составлено авторами с использованием [1, 2, 9]

Как следует из представленных в таблице 1 определений, биоэкономика не имеет единственной универсальной трактовки, а эволюционирует и расширяется, включая новые аспекты. Это многогранное понятие реализуется на практике как сложная межсекторальная система, существующая на стыке экологии, биотехнологий, промышленной политики и права. Эффективное управление ею требует сочетания нескольких взаимодополняющих концепций, которые определяют различные акценты в регулировании и развитии отрасли [3]. Эти концепции, в свою очередь, формируются вокруг трёх базовых парадигм: биотехнологической, биоресурсной и биоэкологической, которые составляют теоретическое ядро, обрастающее более широким набором управленческих подходов, учитывающих технологические, институциональные и социальные аспекты.

1. Биотехнологический рассматривает основу биоэкономики как экономику знаний, опирающуюся на НИОКР и технологические инновации. Основные инструменты - патенты, лицензии, венчурное финансирование, быстрый трансфер технологий, создание платформ и биоинкубаторов. Такой подход стимулирует инновации и технологическое лидерство. Примеры: США (государственные инвестиции в биофармацевтику, агробиотехнологии, геномику; высокий уровень толерантности к ГМО), Китай и Индия — активные инвестиции в биотехнологические кластеры и научные центры.

2. Биоресурсный акцентирует рациональное и каскадное использование возобновляемой биомассы (лесная, сельскохозяйственная, аквабиомасса, отходы), развитие биоэнергетики и снижение зависимости от невозобновляемых ресурсов. Инструменты: переработка сырья, каскадное использование, стимулирование компостирования производства биотоплива. Примеры: Швеция и Финляндия (комплексное использование лесной биомассы, интегрированные замкнутые цепочки переработки), Бразилия (биоэтанол из сахарного тростника). В России ресурсный подход доминирует в лесной и сельхозпереработке, но требует развития нормативной базы и инфраструктуры.

3. Биоэкологический фокусируется на экологических границах и сохранении биоразнообразия. Регулирование осуществляется через экологические стандарты, квоты, «зелёные» налоги, оценку экосистемных услуг. Применение: ЕС (интеграция в стратегии циркулярной биоэкономики и зелёного курса), Беларусь (Национальный план «зелёной экономики»: охрана экосистем, переработка отходов, органическое сельское хозяйство). В России экологическая компонента реализуется частично в отраслевых стратегиях, но пока не объединена в национальную биоэкономическую стратегию.

Параллельно выделяют три модели охвата биоэкономики:

• широкая — охватывает здравоохранение, образование, промышленную биотехнику и национальную безопасность, создавая комплексную платформу роста;

• узкая — сосредоточена на «зелёном переходе», ВИЭ и климатическом регулировании, с упором на экологические цели;

• смешанная — сочетает биоресурсный и биоэкологический подход, включает АПК, лесное хозяйство, морские ресурсы, биопереработку и биорафинацию, позволяя достигать одновременно экологических и производственных целей [8].

На рисунке 1 представлена классификация парадигм биоэкономики и их распространение в мире. Данная визуализация позволяет комплексно оценить взаимосвязь между теоретической основой, практической реализацией и региональными особенностями развития биоэкономики.

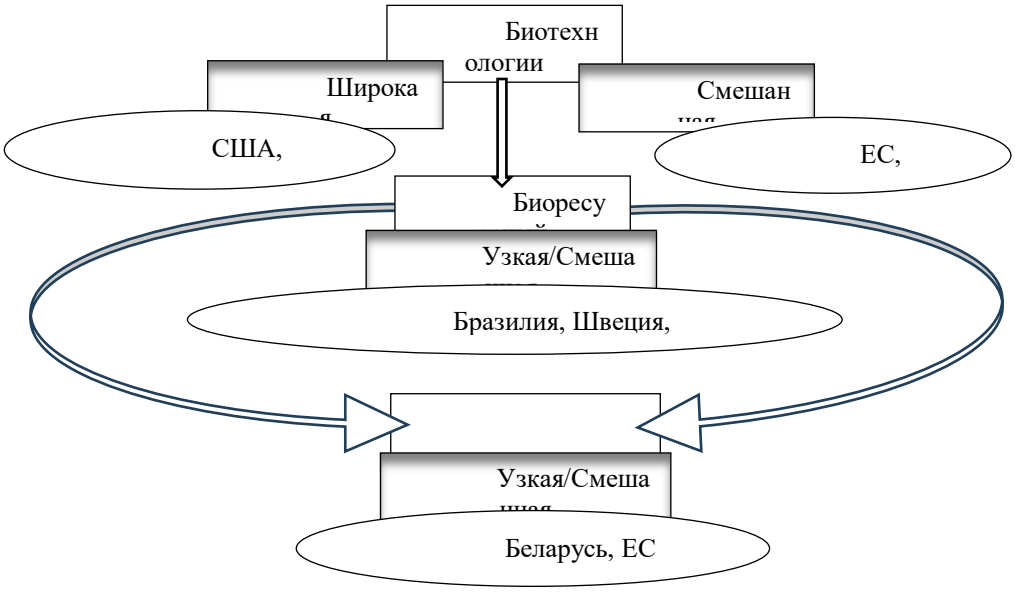


Рисунок 1 – Классификация парадигм биоэкономики и их распространение в мире

Источник: составлено авторами с использованием [8]

Как иллюстрирует рисунок 1, в мире существует несколько конкурирующих парадигм биоэкономики. Анализ российской модели в сравнении с подходами, принятыми в других странах, позволяет выявить ее уникальные черты, ключевые ориентиры и структурные особенности. Российский подход не является универсальным и формируется под влиянием конкретных национальных приоритетов и институциональных условий. Помимо данных подходов существуют конкретные воплощения, инструменты или элементы. Среди ключевых концепций, определяющих глобальное развитие биоэкономики, можно выделить биотехнологическую, ресурсно-ориентированную, биоэкологическую, циркуляторную, институциональную, кластерно-сетевую, компетентностно-образовательную и правовую с компонентом биобезопасности [12].

Значение этих концепций заключается в том, что они формируют системное понимание биоэкономики, позволяя не просто перечислять мероприятия, а анализировать их глубинные цели, движущие силы и потенциальные эффекты. Каждая парадигма предлагает уникальный ракурс - от технологического прорыва и устойчивого управления ресурсами до формирования новых правил и образовательных систем. Их комплексное рассмотрение необходимо для разработки сбалансированной и эффективной государственной политики. Более подробная характеристика указанных концепций, их ключевых фокусов и инструментов представлена в сводной таблице 2 [7].

В отличие от стран ЕС, где биоэкономика встроена в единый стратегический контекст («Европейский зелёный курс», Стратегия биоэкономики ЕС 2018 г.), в России отсутствует отдельный рамочный документ [4]. Элементы биоэкономики включены в стратегические и отраслевые программы (Стратегия пространственного развития РФ до 2025 г., Федеральная программа развития сельского хозяйства 2017-2025, Доктрина продовольственной

безопасности 2020, Национальная стратегия научно-технологического развития до 2035 г.) [14, 15]. Основные направления - агропромышленный и лесопромышленный биоэнергетика, фармацевтика и медицина [11]. Российская модель ориентирована на отраслевое развитие и импортозамещение, не имеет единой системы мониторинга и интегрируется в стратегию экономического суверенитета, а не только устойчивого развития.

Таблица 2 – Концепции управления биоэкономикой на примере разных стран

Концепция	Ключевой фокус	Инструменты управления	Примеры реализации зарубежом	Примеры реализации в России
Биотех-нологическая	Наука, инновации, высокие технологии	Инвестиции в НИОКР, венчуры; патенты и лицензии; технопарки, биоинкубаторы; регуляторные «песочницы»	США, Китай – миллиардные инвестиции в биомедицину, агробиотех, биоматериалы; толерантность к ГМО (США) облегчает внедрение	Россия – программа «Био2020» (2010–2014); созданы биотехнопарки (Пущино); требуется нарастить финансирование и трансфер технологий
Ресурсно-ориентированная	Биомасса и возобновляемые ресурсы	Каскадная переработка сырья; биоэнергетика; компостирование; стимулирование утилизации отходов	Бразилия – программа биоэтанола из тростника; Скандинавия – комплексное использование лесной биомассы, производство пеллет и биогаза	Россия – упор на лес, аграрные отходы и биогаз; проекты по глубокой переработке древесины; нужна инфраструктура сбора и сортировки биосырья
Биоэкологическая	Экологические рамки, приоритет природы	Экопределы; экостандарты и налоги; ООПТ; оценка экосистемных услуг	ЕС – интеграция биоэкономики и климатической политики, мониторинг 25 индикаторов устойчивости; Беларусь – План зелёной экономики (2021–2025) с целями по климату и экосистемам	Россия – доктрина сохранения лесов, воды; внедрение нацпроекта по экологии; начало учёта углеродного следа продукции; требуется увязать биоэкономику с целями снижения нагрузки на экосистемы
Циркулярная	Замкнутые циклы, минимизация отходов	Расширенная ответственность производителя; стандарты на вторичные биоматериалы; налоговые льготы за «замкнутые» модели; индустриальные симбиозы	ЕС – стратегия циркулярной биоэкономики (2018), €100 млн на проекты замкнутого цикла; Нидерланды, Финляндия – лидеры по переработке биологических отходов в энергию и материалы	Россия – реформа обращения с отходами (ТКО) закладывает основы для циркулярности; пилотные проекты по компостируемой упаковке и биогазу; необходима корректировка норм по налогообложению

				и стандартах под циркулярную модель
Институциональная	Институты и политика (стратегии, органы, законы)	Нацстратегия и межведомственное управление; «дорожные карты»; налогово-финансовые стимулы; зелёные госзакупки; стандартизация, открытые данные	ЕС – European Green Deal, стратегия ЕС-2018, система показателей и агентств поддержки; Китай, Корея – госпланы биоэкономики с финансированием 2–3% ВВП	Россия – нет единого плана, но биоаспекты в стратегии науки, АПК и др.; требуется единый координационный центр и сквозные регламенты, как указано в наццелях 2024 г.
Кластерно-сетевая	Кластеры, биорегионы, кооперация	ГЧП для биотехнопарков; региональные биохабы; консорциумы вузов и компаний; совместные R&D-программы; спецрежимы для кластеров	ЕС – биокластеры IAR (Франция), Biobased Delta (Нидерланды); Финляндия – региональные центры биоэкономики на базе лесного комплекса	Россия – зарождающиеся биокластеры (Пущино, Калужская обл. – биофарма); потенциал кластеров в лесном секторе (Северо-Запад), агробиотехнологиях (Черноземье); требуются меры стимуляции кооперации регионов, науки и бизнеса
Компетентностно-образовательная	Кадры и знания (образование, наука)	Междисциплинарные программы обучения; практико-ориентированное образование; университетские R&D-центры; переподготовка кадров; поддержка стартапов	ЕС – программы Erasmus Mundus по биоэкономике, сеть вузовских центров компетенций; Германия – интеграция биоэкономики в образовательные стандарты вузов; США – гранты университетам на биотехнологические программы	Россия – отдельные магистратуры (МГУ, РАНХиГС и др.) и курсы по биоэкономике; начинания НТИ (Нейронет, Хелснет) по подготовке кадров; необходимо расширение профилей подготовки и увязка с потребностями индустрии
Правовая с компонентом биобезопасности	Регулирование рисков, безопасность технологий	Специализированное биоправо; стратегии биобезопасности; этические комитеты; контроль ГМО/геномных	ЕС – жёсткое регулирование ГМО (мораторий на ГМ-растения в ряде стран, маркировка продукции); США – более мягкий подход,	Россия – законодательно запрещено выращивание ГМО-культур; действует госмониторинг особо опасных биоинфекций (Роспотребнадзор);

		технологий; международные соглашения (Картахенский протокол)	ориентирующийся на саморегуляцию и ответственность компаний; глобально – Картахенский протокол по биобезопасности (подписан 173 странами)	ведётся разработка концепции биобезопасности РФ; важна гармонизация с международными нормами и развитие собственной экспертной базы

Источник: составлено авторами с использованием [3, 6]

Биоэкономика сегодня признаётся во всём мире как новая парадигма развития, сочетающая цели экономического роста с задачами экологической устойчивости. Зарубежные модели показывают спектр возможностей: европейская - делает упор на устойчивое развитие и системное управление природным капиталом, американская - на инновации и рынок биотехнологий в контексте промышленной политики, китайская - на масштабную государственную поддержку биосектора ради технологического рывка [13].

Важной задачей остается разработка полноценной национальной стратегии биоэкономики, которая интегрирует научные подходы: и достижения биотехнологий, и рациональное использование биоресурсов, и экологические принципы циркулярности. Стратегическое планирование в этой сфере должно быть направлено на долгосрочную перспективу, учитывая не только экономическую отдачу, но и сохранение экосистемных услуг, климатические обязательства и социальные эффекты (создание рабочих мест, развитие сельских территорий).

Подводя итог, биоэкономика в России может и должна стать одним из драйверов инновационного развития, одновременно способствуя достижению целей устойчивого развития. Для этого важно перенять лучший международный опыт - от европейской практики бережного отношения к природному капиталу до американско-китайского стимулирования высокотехнологичных биоиндустрий - и адаптировать его к отечественным условиям. Консолидация усилий государства, науки и бизнеса в рамках единой биоэкономической политики позволит раскрыть конкурентные преимущества России (богатые ресурсы, компетенции в науке) и обеспечить её достойное место среди мировых лидеров новой биосекторной экономики. перспективы развития биоэкономики в нашей стране напрямую зависят от того, насколько успешно удастся реализовать эту интеграцию подходов и интересов в единой стратегической повестке.

Список литературы

1. International Advisory Council on Global Bioeconomy // Knowledge for policy. URL: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/iacgb-international-advisory-council-global-bioeconomy_en (дата обращения: 13.09.2025)

2. The Organisation for Economic Co-operation and Development // OECD. URL: https://www.oecd.org/ (дата обращения: 13.09.2025)

3. Биоэкономика: опыт Евросоюза и возможности для России / П. А. Кирюшин, Е. Ю. Яковлева, М. Астапкович, М. А. Солодова // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – 2019. – № 4. – С. 60-77.

4. Глазко В.И., Иваницкая Л.В. Биоэкономика и глобализация — основы развития XXI века // Вестник Российской академии естественных наук. – 2012. – № 4. – С. 18–28. Глазко, В. И. Биоэкономика и глобализация - основы развития XXI века / В. И. Глазко, Л. В. Иваницкая // Вестник РАЕН. – 2012. – Т. 12, № 4. – С. 18-30.

5. Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций : принята резолюцией 55/2 Генеральной Ассамблеи от 8 сентября 2000 года // Организация Объединенных Наций.

URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/summitdecl.shtml (дата обращения: 13.09.2025)

6. Дробот, Е. В. Концепции зеленой, циркулярной и биоэкономики в контексте устойчивого развития: синергия и стратегия / Е. В. Дробот, М. Ю. Гаврилина // Экономика, предпринимательство и право. – 2025. – Т. 15, № 6. – С. 3827-3844.

7. Дявго, Я. А. Новые и перспективные направления в экономике. Биоэкономика / Я. А. Дявго // 80-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета : материалы конференции: в 3-х частях, Минск, 10–20 марта 2023 года. – Минск: Белорусский государственный университет, 2023. – С. 561-565.

8. Кубышкин, А. В. Теоретические подходы к регулированию биоэкономики / А. В. Кубышкин // Lex Genetica. – 2024. – Т. 3, № 3. – С. 7-25.

9. Нестеренко, М. А. Биоэкономика как новая парадигма развития / М. А. Нестеренко, Г. В. Комлацкий // Russian Journal of Management. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 96-100.

10. Развитие циркулярной биоэкономики: движущие факторы и показатели / M. Kardung, K. Cingiz, O. Costenoble [и др.] // Экономика природопользования. – 2022. – № 3. – С. 60-97.

11. Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года : распоряжение Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р // Система ГАРАНТ. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72074066/ (дата обращения: 13.09.2025)

12. Теория и практика развития биоэкономики: инновации, цифровизация, трансформации / И.А. Максимцев [и др.]. – СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2019. – 154 с.

13. Турежанов С.У. Биоэкономика: Учебное пособие по специальности 7М04101. – Экономика. – Костанай, 2022. – 84 с.

14. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации : указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 // Президент России. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449 (дата обращения: 13.09.2025)

15. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 // Система ГАРАНТ. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/ (дата обращения: 13.09.2025)

References

1. International Advisory Council on Global Bioeconomy // Knowledge for policy. URL: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/iacgb-international-advisory-council-global-bioeconomy_en (accessed: 13.09.2025)

2. The Organisation for Economic Co-operation and Development // OECD. URL: https://www.oecd.org/ (accessed: 13.09.2025)

3. Bioeconomics: The Experience of the European Union and Opportunities for Russia / P. A. Kiryushin, E. Yu. Yakovleva, M. Astapkovich, and M. A. Solodova // Bulletin of Moscow University. Series 6: Economics. – 2019. – No. 4. – Pp. 60-77.

4. Glazko V.I., Ivanitskaya L.V. Bioeconomy and Globalization – the Foundations of the 21st Century Development // Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. – 2012. – No. 4. – Pp. 18–28. Glazko, V. I. Bioeconomy and Globalization - the Foundations of the 21st Century Development / V. I. Glazko, L. V. Ivanitskaya // Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. – 2012. – Vol. 12, No. 4. – Pp. 18-30.

5. United Nations Millennium Declaration : adopted by General Assembly resolution 55/2 of 8 September 2000 // United Nations. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/summitdecl.shtml (accessed: 13.09.2025)

6. Drobot, E. V., & Gavrilina, M. Y. (2025). Concepts of green, circular and bioeconomics in the context of sustainable development: synergy and strategy. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law, 15*(6), 3827-3844 p.

7. Dyavgo, Ya. A. New and promising directions in economics. Bioeconomics / Ya. A. Dyavgo // 80th Scientific Conference of Students and Postgraduate Students of the Belarusian State University : Conference Proceedings: in 3 parts, Minsk, March 10–20, 2023. Minsk: Belarusian State University, 2023. pp. 561-565.

8. Kubyshkin, A.V. Theoretical approaches to regulating bioeconomics / A.V. Kubyshkin // Lex Genetica. – 2024. – Vol. 3, No. 3. – pp. 7-25.

9. Nesterenko, M. A. Bioeconomics as a new development paradigm. A. Nesterenko, G. V. Komlatsky // Russian Journal of Management. – 2021. – Vol. 9, No. 4. – pp. 96-100.

10. Development of circular bioeconomics: driving factors and indicators / M. Kardung, K. Cingiz, O. Costenoble [et al.] // Economics of environmental Management. – 2022. – No. 3. – Pp. 60-97.

11. On Approval of the Spatial Development Strategy of the Russian Federation for the Period up to 2025: Order of the Government of the Russian Federation No. 207-r dated February 13, 2019: [Electronic resource] // Garant System. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72074066/ (accessed: 13.09.2025)

12. Theory and practice of the bioeconomics development: innovations, digitalization, transformation / I.A. Maksimtsev [et al.]. – SPb. : Saint-Petersburg State University of Economics Publishing House, 2019. – 154 p.

13. Turezhanov S.U. Bioeconomics: Textbook for the specialty 7M04101 – Economics. – Kostanay, 2022. – 84 p.

14. On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation No. 642 dated December 1, 2016 : [Electronic resource] // President of Russia. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449 (accessed: 13.09.2025)

15. On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation No. 20 dated January 21, 2020 // System GARANT. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/ (accessed on 13.09.2025)

DOI: 10.58168/Forestry2025_370-375
УДК 332.3:631.4

ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ РЕГИОНЕ

Н.В. Яковенко, И.В. Комов, А.А.Колотушкин

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация.

Центрально-Черноземный регион (ЦЧР) исторически является житницей России, обладающей уникальными ресурсами черноземных почв. Однако интенсивное сельскохозяйственное использование на протяжении последних столетий привело к возникновению комплекса серьезных проблем, угрожающих долгосрочному плодородию и экологической стабильности агроландшафтов. В данной статье рассматриваются ключевые проблемы использования сельскохозяйственных земель в ЦЧР: деградация почвенного покрова (водная и ветровая эрозия, потеря гумуса, уплотнение), агрохимическое загрязнение, несбалансированная структура землепользования и негативное влияние изменения климата. На основе анализа современного состояния авторы предлагают направления для перехода к устойчивому и ресурсосберегающему землепользованию, включающие внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия, биологизацию сельского хозяйства и совершенствование правового и экономического механизмов охраны земель.

Ключевые слова: Центрально-Черноземный регион, черноземы, деградация земель, эрозия почв, гумус, землепользование, устойчивое сельское хозяйство.

PROBLEMS OF RATIONAL USE OF AGRICULTURAL LANDs IN THE CENTRAL BLACK SOIL REGION

N.V. Yakovenko, I.V. Komov, A.A. Kolotushkin

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract

The Central Black Soil Region has historically been Russia's granary, possessing unique black soil resources. However, intensive agricultural use over the past centuries has led to the emergence of a complex of serious problems that threaten the long-term fertility and ecological stability of agricultural landscapes. The main problems of agricultural land use in the Central Black Soil Region are considered, in particular, soil degradation (water and wind erosion, humus loss, compaction), agrochemical pollution, unbalanced land use structure, and the negative impact of climate change. Based on the analysis of the current state, the authors propose directions for transitioning to sustainable and resource-saving land use, including the introduction of adaptive landscape farming systems, the biologization of agriculture, and the improvement of legal and economic mechanisms for land protection.

Keywords: Central Black Soil Region, black soils, land degradation, soil erosion, humus, land use, sustainable agriculture.

© Яковенко Н. В., Комов И. В., Колотушкин А. А., 2025

Введение.

Центрально-Черноземный экономический район, включающий Белгородскую, Воронежскую, Курскую, Липецкую и Тамбовскую области, занимает центральное место в аграрном комплексе Российской Федерации. Основу его агропотенциала составляют знаменитые черноземы, характеризующиеся высоким содержанием гумуса, мощным почвенным профилем и благоприятными агрофизическими свойствами. В условиях роста глобальной продовольственной безопасности и импортозамещения значение ЦЧР как производителя зерна, подсолнечника, сахарной свеклы и других культур сложно переоценить [1,2]. Однако многовековая распашка, особенно в сочетании с применением экстенсивных и ресурсоемких технологий в советский и постсоветский периоды, привела к значительной трансформации и деградации почвенного покрова [3,9]. Проблемы, которые долгое время считались локальными, приобрели системный характер, ставя под угрозу не только экономическую эффективность АПК, но и экологическую безопасность региона (рис.1).

Целью данной статьи является систематизация и анализ современных проблем использования сельскохозяйственных земель в ЦЧР и выработка научно обоснованных рекомендаций по их преодолению.

Результаты и их обсуждение.

Наиболее острой и масштабной проблемой остается деградация земель, проявляющаяся в нескольких формах.

Несмотря на распространенное мнение об устойчивости черноземов, они в высокой степени подвержены эрозионным процессам.

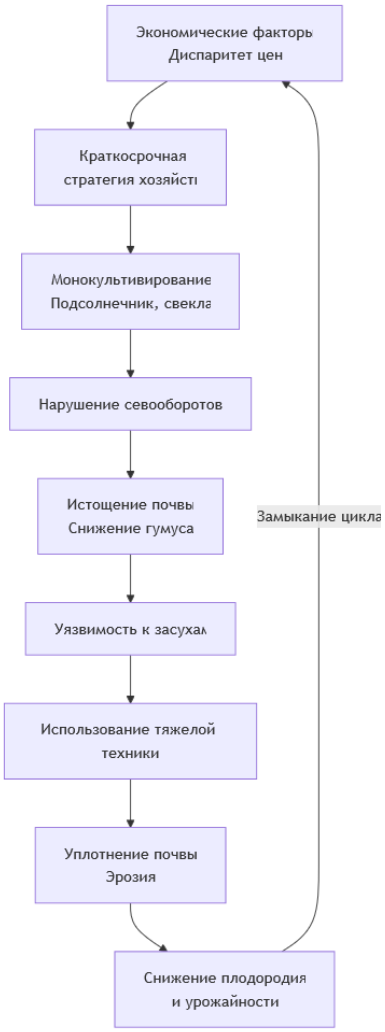


Рисунок 1. Взаимосвязь и цикл ключевых проблем землепользования в ЦЧР

Распашка склоновых земель, ликвидация полезащитных лесополос, несоблюдение почвозащитных севооборотов и использование тяжелой техники приводят к смыву и выдуванию наиболее плодородного верхнего горизонта. По данным научных учреждений, до 40-50% пашни в ЦЧР в той или иной степени эродировано. Ежегодные потери почвы на отдельных участках могут достигать 10-15 т/га, что означает безвозвратную утрату десятков тонн гумуса и питательных веществ [3,8].

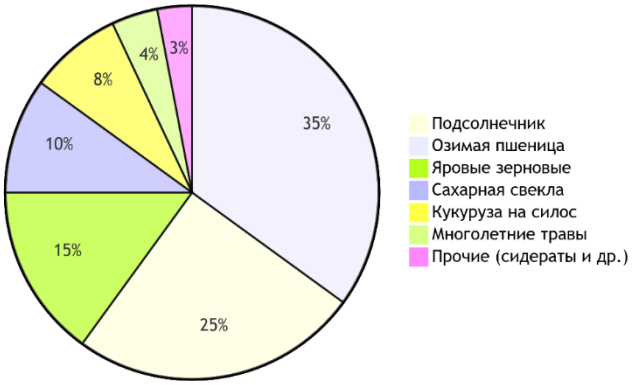


Рисунок 2. Структура посевных площадей в ЦЧР, %

Черноземы ЦЧР потеряли значительную часть своего органического вещества [6]. Если век назад содержание гумуса в типичных черноземах составляло 10-12%, то сегодня его запасы в пахотном слое редко превышают 6-8%, а на значительных площадях опустились до 4-5% [2]. Основными причинами являются недостаточное внесение органических удобрений, низкий выход пожнивных остатков (особенно при возделывании подсолнечника и кукурузы на силос), минерализация гумуса из-за интенсивной обработки почвы.

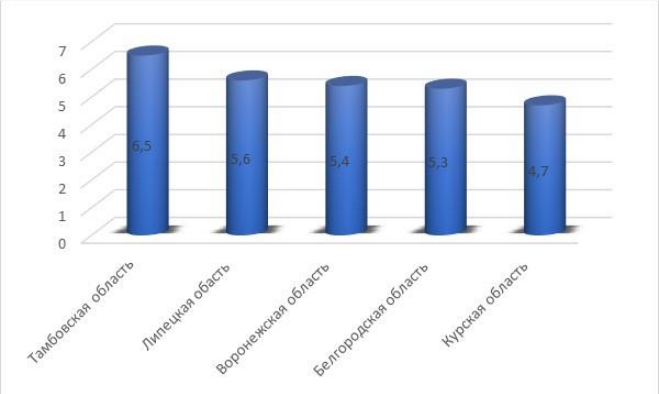


Рисунок 3. Средневзвешенное содержание органического вещества в почвах пашни ЦЧР, % (по данным мониторинга на 01.01.2021 г.)

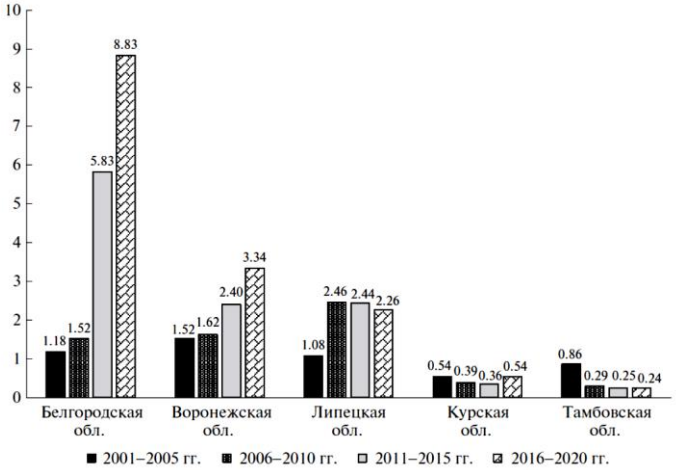


Рисунок 4. Динамика внесения органических удобрений в ЦЧР, т/га посева [7]

Использование тяжелой сельскохозяйственной техники, особенно в условиях повышенной влажности, приводит к формированию уплотненного подпахотного слоя (плужной подошвы). Это ухудшает водно-воздушный режим почвы, затрудняет развитие корневой системы растений, способствует развитию водной эрозии и снижает продуктивность угодий на 15-25%. Сложившаяся структура посевных площадей, ориентированная на прибыльные, но истощающие почву культуры (подсолнечник, сахарная свекла), приводит к отрицательному балансу питательных веществ. Несбалансированное применение минеральных удобрений (часто с перекосом в сторону азотных) вызывает закисление почв, загрязнение грунтовых вод нитратами и способствует дегумификации. Хотя масштабы применения пестицидов сегодня меньше, чем в советский период, риски сохраняются. Накопление остатков средств защиты растений в почве и воде негативно сказывается на почвенной биоте – микроорганизмах, дождевых червях, которые являются ключевыми агентами формирования почвенного плодородия. Снижение биоразнообразия агроценозов делает их более уязвимыми к вспышкам вредителей и болезней [4,5].

Высокая стоимость ГСМ, удобрений и техники при нестабильности закупочных цен на сельхозпродукцию вынуждает хозяйства максимизировать прибыль в краткосрочной перспективе. Это приводит к нарушению севооборотов, «подсолнечному монокультивированию» (когда возврат культуры на поле происходит через 3-4 года вместо рекомендованных 7-8), что катастрофически истощает почву.

Недостаточная эффективность контроля за соблюдением норм земельного и природоохранного законодательства, низкие ставки платы за деградацию земель не создают достаточных стимулов для аграриев инвестировать в долгосрочное восстановление почвенного плодородия. Учащение экстремальных погодных явлений (засухи, суховеи, ливневые дожди) усугубляет все вышеперечисленные проблемы. Засухи усиливают стресс у растений и способствуют ветровой эрозии, а ливни на распаханных склонах вызывают катастрофический смыв почвы [9].

Заключение

Проблемы использования сельскохозяйственных земель в Центрально-Черноземном регионе носят комплексный, взаимосвязанный характер и требуют системного подхода к их решению. Дальнейшая эксплуатация уникального черноземного ресурса по экстенсивному сценарию неприемлема и ведет к необратимым последствиям. В качестве основных направлений перехода к рациональному землепользованию предлагается (рис.5).

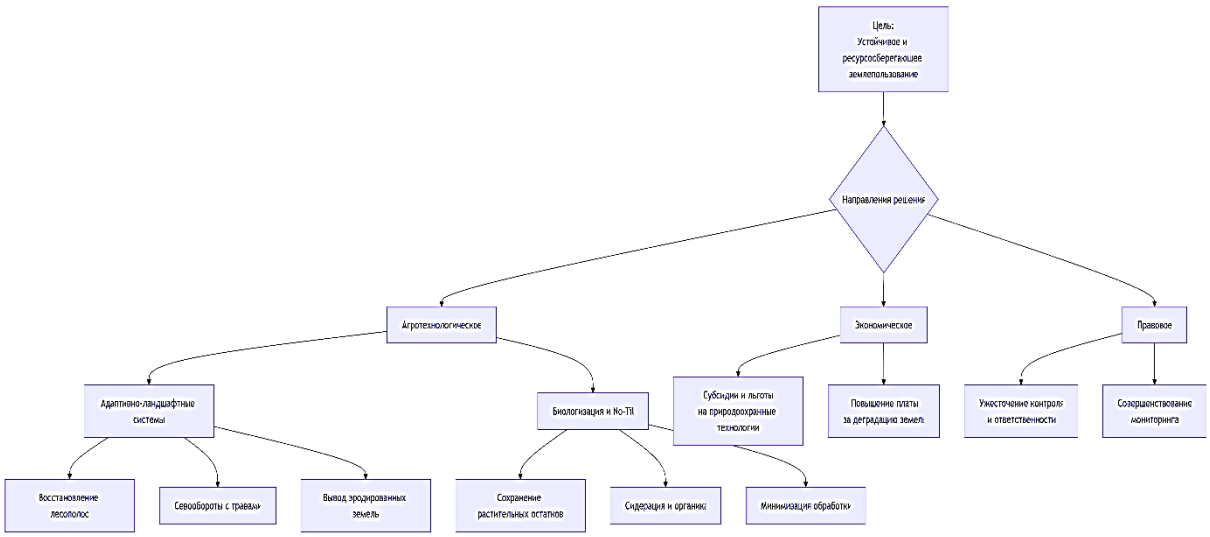


Рисунок 5. Комплексный подход к переходу на устойчивое землепользование в ЦЧР

1.Внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия, предполагающих дифференцированное использование земель с учетом их рельефа, свойств почвы и эрозионной опасности. Это включает:

- Вывод из активной распашки эрозионно-опасных склонов и перевод их в сенокосы или залужение.
- Восстановление сети полезащитных лесополос.
- Внедрение почвозащитных севооборотов с увеличенной долей многолетних трав и сидератов.

2. Биологизация и ресурсосбережение в земледелии:

- Широкое применение технологий No-Till и Mini-Till для борьбы с эрозией и сохранения влаги.
- Систематическое внесение органических удобрений и использование сидеральных паров.
- Оптимизация системы применения минеральных удобрений и средств защиты растений на основе агрохимического обследования почв.

3. Совершенствование экономических и правовых механизмов:

- Ужесточение ответственности за деградацию земель и внедрение системы стимулирования (субсидий, налоговых льгот) для хозяйств, внедряющих природоохранные технологии.
- Развитие системы мониторинга и учета состояния земель сельскохозяйственного назначения.

Только комплексная реализация этих мер позволит сохранить и приумножить национальное достояние России – черноземы Центрального Черноземья – для будущих поколений.

Список литературы

1. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия: учебное пособие / В. В. Рзаева, Н. В. Фисунов, С. С. Миллер, Т. С. Киселёва. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2024. – 134 с.

2. Беспалов В. А. Изменение свойств черноземов сегрегационных в агролесоландшафтах Центрального Черноземья / В. А. Беспалов // Агрохимия. – 2021. – № 12. – С. 23–36.

3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». – М.: Минприроды России, 2022. – [Б. с.].

4. Дудин М. Н. Динамика импортозамещения в сельском хозяйстве / М. Н. Дудин // Экономика и социум: современные модели развития. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 169-182. – DOI 10.18334/ecsoc.12.3.115207.

5. Импортозамещение в АПК России: проблемы и перспективы: монография. – М.: ФГБНУ «Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства», 2015. – 447 с.

6. Комов И. В. Агропромышленный комплекс как конкурентное преимущество социально-экономического развития Воронежской области / И. В. Комов, Н. В. Яковенко // Интернет-журнал Науковедение. – 2016. – Т. 8, № 1(32). – С. 18.

7. Лукин С. В. Мониторинг агроэкологического состояния пахотных почв Центрально-Черноземного района России// Агрохимия. – 2023.– № 4. – С. 67–77.

8. Сычев В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычев. – М.: РАН, 2019. – 328 с.

9. Чевердин Ю.И. Изменение свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия / Ю. И. Чевердин. – Воронеж: Истоки, 2013. – 335 с.

References

1. Rzaeva, V. V., Fisunov, N. V., Miller, S. S., & Kiseleva, T. S. (2024). *Adaptive-landscape farming systems: A textbook*. State Agricultural University of the Northern Trans-Urals.

2. Bespalov, V. A. (2021). Change in the properties of segregational chernozems in agroforest landscapes of the Central Chernozem Region. *Agrochemistry*, 12, 23–36.

3. Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. (2022). *State report "On the state and protection of the environment of the Russian Federation"*.

4. Dudin, M. N. (2022). Dynamics of import substitution in agriculture. *Economics and Socium: Modern Models of Development*, 12(3), 169–182. https://doi.org/10.18334/ecsoc.12.3.115207

5. *Import substitution in the agro-industrial complex of Russia: Problems and prospects* (2015). All-Russian Research Institute of Agricultural Economics.

6. Komov, I. V., & Yakovenko, N. V. (2016). Agro-industrial complex as a competitive advantage of socio-economic development of the Voronezh region. *Online Journal of Science Studies, 8(1(32)), 18.*

7. Lukin, S. V. (2023). Monitoring of the agroecological state of arable soils in the Central Chernozem region of Russia. Agrochemistry, (4), 67–77.

8. Sychev, V. G. (2019). *The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation*. Russian Academy of Sciences.

9. Cheverdin, Yu. I. (2013). *Changes in soil properties in the southeast of the Central Chernozem Region under anthropogenic influence*. Istoki Publishing.

СЕКЦИЯ 3. ГЕНЕТИКА, ПОСТГЕНОМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, БИОТЕХНОЛОГИИ, СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

DOI: 10.58168/Forestry2025_376-385
УДК 581.6

ГЕНЕТИЧЕСКИ ОПТИМИЗИРОВАННЫЕ САЖЕНЦЫ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ПЛАТФОРМЫ: СИБМИОЗ БИОТЕХНОЛОГИЙ И АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

А.Е. Авдонина

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация.

Статья посвящена комплексному анализу инновационного подхода к преодолению глобального кризиса деградации лесов. Рассматривается симбиоз двух высокотехнологичных направлений: создания генетически оптимизированного посадочного материала и применения автономных роботизированных платформ для лесовосстановления. Освещены современные методы селекции, включая маркер-вспомогательный отбор, соматический эмбриогенез и генное редактирование CRISPR/Cas9, позволяющие получать саженцы с повышенной устойчивостью к болезням, вредителям и абиотическим стрессам. Описаны многоуровневые робототехнические системы. Подчеркивается необходимость междисциплинарного сотрудничества и разработки адаптивной нормативной базы для реализации этого потенциала.

Ключевые слова: Лесовосстановление, биотехнологии, роботизация, генетически оптимизированные саженцы, платформы, устойчивое лесопользование.

GENETICALLY OPTIMIZED SEEDLINGS AND ROBOTIC PLATFORMS: SYMBIOSIS OF BIOTECHNOLOGY AND AUTOMATION FOR SUSTAINABLE FOREST RESTORATION

A.E. Avdonina

St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia

Abstract.

The article is devoted to a comprehensive analysis of an innovative approach to overcoming the global crisis of forest degradation. The symbiosis of two high-tech areas is considered: the creation of genetically optimized planting material and the use of autonomous robotic platforms for forest restoration. Modern breeding methods are covered, including marker-assisted selection, somatic embryogenesis and CRISPR/Cas9 gene editing, which allow obtaining seedlings with increased resistance to diseases, pests and abiotic stresses. Multilevel robotic systems are described. The need for interdisciplinary cooperation and the development of an adaptive regulatory framework to realize this potential is emphasized.

Keywords: Reforestation, biotechnology, robotics, genetically optimized seedlings, platforms, sustainable forest management.

© Авдонина А. Е., 2025

Современный этап технологического развития парадоксальным образом сопровождается углубляющимся кризисом лесных экосистем. Масштабы их деградации достигли критической отметки: ежегодно в мире исчезает приблизительно от 5 до 10 миллионов гектаров леса, из которых на долю России приходится около 3-4 миллионов. (Рисунок 1) [9]

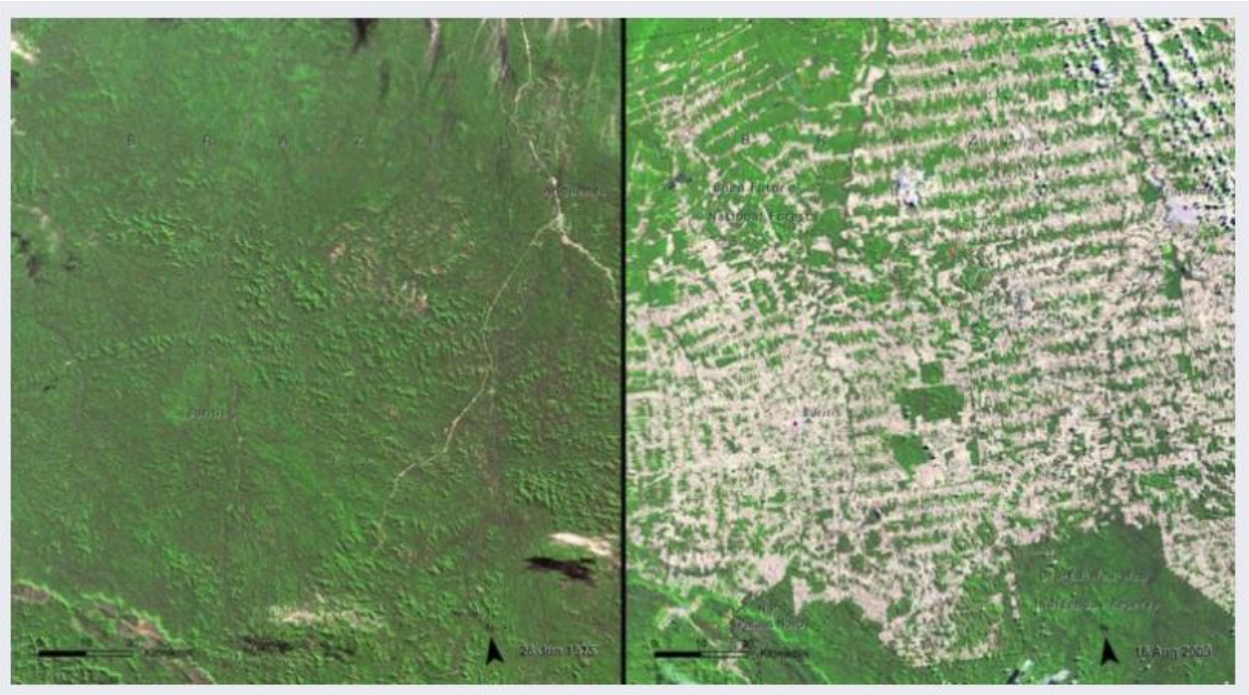


Рисунок 1. Вырубка лесов на территории Бразилии

Особую тревогу вызывает тот факт, что нетронутые хозяйственной деятельностью человека массивы теперь составляют лишь пятую часть общемирового лесного фонда. К основным причинам разрушения относят незаконные вырубки для нужд сельского хозяйства и промышленности, учащающиеся лесные пожары, последствия климатических изменений в виде засух и аномальных погодных условий, а также естественные процессы старения и болезней деревьев. Сложившаяся ситуация усугубляется недостаточной эффективностью традиционных методов лесовосстановления, которые не успевают компенсировать ни скорость утраты площадей, ни урон, нанесенный биологическому разнообразию. При этом значение лесов простирается далеко за рамки экономической ценности древесины, поскольку они выполняют ключевые экосистемные функции: регулируют климат, поддерживают кислородный баланс, защищают почвы от эрозии, сохраняют биоразнообразие и фильтруют водные ресурсы. В связи с этим возникает острая потребность в технологическом прорыве — разработке и внедрении инновационных решений, способных обеспечить не только быстрое, но и качественное, комплексное восстановление лесов, что требует интеграции передовых технологий с проверенными практиками охраны природы.

Неэффективность традиционных методов восстановления лесов становится все более очевидной на фоне масштабных экологических вызовов. Существующие подходы сталкиваются с комплексом взаимосвязанных проблем, ключевой из которых является крайне низкая приживаемость саженцев на нарушенных территориях. Это обусловлено деградацией почв, отсутствием симбиотических связей с грибницей, агрессивным распространением сорняков и повышенной климатической нестабильностью. Существенным ограничением выступает исключительно длительный цикл роста древесных пород, что приводит к замедленному восстановлению экологических функций, высоким рискам гибели молодых посадок и хронической экономической нерентабельности проектов. Кроме того, традиционное лесоводство характеризуется исключительной трудоемкостью процессов, требующих ручной посадки, постоянного ухода, мониторинга и защиты насаждений. Критическим недостатком становится и низкая адаптивность классических методов, проявляющаяся в неспособности

многих пород противостоять новым погодным аномалиям, экстремальным явлениям и инвазивным биологическим угрозам. [6]

В этой связи возникает насущная потребность в принципиально новых технологических решениях, интегрирующих последние достижения генетики, робототехники и экологического инжиниринга. Перспективным направлением представляется разработка стресс-устойчивых генотипов растений с ускоренным циклом развития и повышенной жизнеспособностью. Не менее важной составляющей является автоматизация процессов с использованием роботизированных систем, обеспечивающих прецизионную посадку, оптимизацию ресурсов и значительное снижение зависимости от человеческого труда. Синтез этих направлений формирует основу для новой парадигмы лесовосстановления, способной обеспечить не только количественное воспроизводство деревьев, но и качественное воссоздание сложных экосистем, обладающих устойчивостью к современным климатическим и антропогенным вызовам.

В условиях глобального экологического кризиса и катастрофической деградации лесных биомов традиционные методы лесовосстановления показывают свою системную неэффективность, что актуализирует разработку инновационных технологических решений в области восстановления лесных экосистем. Антропогенная трансформация природных ландшафтов, усугубляемая климатическими изменениями, требует применения принципиально новых подходов, основанных на междисциплинарном синтезе достижений генетики, биотехнологии и робототехники. Ключевым элементом такой новой парадигмы становится создание и массовое внедрение генетически оптимизированных саженцев, которые смогут стать фундаментом для устойчивых и жизнеспособных лесов будущего. Основная стратегическая цель генетической оптимизации заключается в целенаправленном улучшении ключевых биологических характеристик древесных пород для преодоления ограничений, присущих традиционному посадочному материалу. Эта масштабная задача реализуется через несколько взаимосвязанных направлений. [7] Первое направление нацелено на кардинальное ускорение роста и увеличение биомассы растений за счет глубокой селекции и генетических модификаций, оптимизирующих процессы поглощения питательных веществ из почвы, эффективность фотосинтеза и развития мощной корневой системы, что в совокупности значительно повышает конверсию солнечной энергии в растительную массу. Второе, не менее важное направление, фокусируется на целенаправленном повышении комплексной устойчивости саженцев к широкому спектру биотических и абиотических стрессоров, включая создание сортов, обладающих повышенной резистентностью к патогенным грибкам и вирусам, устойчивостью к атакам насекомых-вредителей, а также переносимостью к экстремальным температурным колебаниям и засухам. Третье стратегическое направление работ связано с адаптацией растений к специфическим и, как правило, неблагоприятным почвенным условиям нарушенных и деградировавших земель, что подразумевает выведение специализированных форм, способных успешно произрастать на засоленных, загрязненных тяжелыми металлами, истощенных или имеющих критический уровень кислотности грунтах. Особое место в исследованиях занимает создание так называемых карбоно-эффективных пород - акцепторов, обладающих рекордной способностью к секвестрации атмосферного углекислого газа, что достигается через увеличение площади листовой поверхности, интенсификацию фотосинтетических процессов и оптимизацию внутреннего углеродного цикла растения. Реализация столь амбициозных целей требует применения комплексного технологического подхода, интегрирующего не только передовые методы геномного редактирования и молекулярной селекции с использованием маркеров, но и классические инструменты отбора, с обязательным этапом многолетнего полевого тестирования перспективных линий в разнообразных экологических условиях. Неотъемлемой частью процесса является создание разветвленной системы мониторинга для всесторонней оценки эффективности выведенных сортов, включающей постоянный анализ показателей приживаемости, динамики роста, устойчивости к патогенам и продуктивности поглощения CO_2. Успешные решения впоследствии масштабируются через создание банков -

криохранилищ ценного генетического материала, разработку технологий клонального микроразмножения и развертывание автоматизированных тепличных комплексов для массового производства адаптированных саженцев. [2]

Создание посадочного материала с заданными свойствами представляет собой многоуровневый процесс, который может опираться как на классические, проверенные временем подходы, так и на самые передовые достижения молекулярной биологии. Комплексное применение этих методов позволяет вести селекцию не вслепую, а целенаправленно, значительно сокращая временные циклы, которые в лесном хозяйстве традиционно исчисляются десятилетиями. Традиционная селекция была и остается фундаментальным методом, особенно для видов, сложно поддающихся биотехнологическим манипуляциям. Её современная интерпретация — ускоренный отбор плюсовых деревьев — уже далека от простого визуального выбора лучших экземпляров. Она представляет собой сложную программу, включающую выделение фенотипически выдающихся деревьев (доноров ценных признаков), организацию на их основе постоянных лесосеменных участков и географических культур, где потомство этих «элитных» деревьев всесторонне испытывается в различных экологических условиях. Ключевым преимуществом этого пути является его экономическая доступность, отсутствие жестких нормативно-правовых барьеров и, что крайне важно, сохранение естественного генетического разнообразия популяций, что обеспечивает устойчивость будущих лесных экосистем к непредсказуемым изменениям среды. [10]

Следующим шагом в эволюции селекции стал маркер-вспомогательный, который совершил переход от отбора по внешним признакам (фенотипу) к отбору на уровне генома (генотипа). Этот метод использует молекулярные маркеры (такие как SSR-микросателлиты или SNP-однонуклеотидные полиморфизмы), которые ассоциированы с генами, ответственными за желательные признаки — устойчивость к патогену, засухоустойчивость, скорость роста. Это позволяет проводить диагностику на сеянце в пробирке, не дожидаясь, пока дерево вырастет и проявит свои качества через 20–30 лет. MAS кардинально ускоряет селекционный процесс, повышает его точность и эффективность, позволяя комбинировать нужные гены в одном генотипе. [3]

Для массового тиражирования генотипов, отобранных в результате традиционной селекции или МАС, применяется метод соматического эмбриогенеза. Соматический эмбриогенез представляет собой уникальный природный механизм, который лежит в основе вегетативного размножения растений. Суть этого процесса заключается в том, что обычные клетки организма (соматические клетки) способны трансформироваться в особые тотипотентные клетки. Эти клетки обладают удивительной способностью — они могут развиваться и формировать совершенно новый полноценный организм без участия полового размножения. Это процесс, при котором из любой клетки растения (не половой) может развиться новое полноценное растение. Данное явление широко распространено в природе и используется в современной биотехнологии для массового размножения ценных сортов растений. Ярким примером такого процесса служит размножение некоторых растений, например, представителей рода Каланхое. (Рисунок 2)

Рисунок 2

У этих растений на краях листьев формируются специальные почки, которые, отпадая от материнского растения, дают начало новым особям. (рисунок 3)

Рисунок 3

Процесс включает несколько стадий: индукцию каллусной ткани, собственно эмбриогенез, созревание и проращивание полученных зародышей с последующей адаптацией растений-регенерантов к нестерильным условиям. Таким образом, соматический эмбриогенез решает критическую задачу перехода от единичного ценного генотипа к промышленным объемам стандартизированного, здорового (свободного от патогенов) посадочного материала, сохраняющего все свойства материнского растения. [8]

Наиболее прогрессивным и точным инструментом создания генетически оптимизированных саженцев является технология CRISPR/Cas9, представляющая собой революционную систему редактирования генома, основанную на естественном защитном механизме бактерий. Данная система включает два ключевых компонента: CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) — особые участки бактериальной ДНК, содержащие короткие палиндромные повторы, и Cas9 (CRISPR-associated protein 9 — фермент, действующий как молекулярные ножницы, способные разрезать двунитевую ДНК в строго заданном месте.

Механизм действия технологии заключается в многоэтапном процессе. На первом этапе конструируется направляющая РНК (guide RNA), последовательность которой комплементарна целевому участку ДНК, подлежащему редактированию. Эта РНК соединяется с ферментом Cas9, формируя функциональный комплекс. После введения в клетку данный комплекс осуществляет поиск целевой последовательности ДНК и связывается с ней благодаря принципу комплементарности. Фермент Cas9 делает точный разрыв в обеих цепях ДНК в заданном локусе. Это запускает естественные механизмы репарации (восстановления) ДНК клетки, которые можно использовать для внесения желаемых изменений в геном. Наиболее часто применяются два пути репарации: NHEJ (non-homologous end joining), который часто приводит к отключению (нокауту) гена из-за небольших делеций

или вставок, и HDR (homology-directed repair), позволяющий с помощью матричной ДНК вставить новую генетическую последовательность или точечно заменить участок гена. (Рисунок 4) [4]

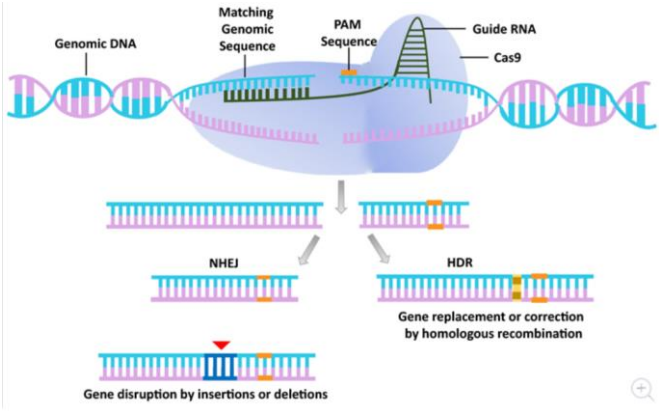


Рисунок 4

Основные возможности CRISPR/Cas9 в создании улучшенных саженцев включают: точное редактирование генов, ответственных за хозяйственно-ценные признаки; удаление (нокаут) нежелательных генов, например, снижающих устойчивость к болезням или засухе; вставку новых генетических последовательностей, кодирующих полезные белки; и модификацию регуляторных областей для усиления или ослабления экспрессии существующих генов.

Преимущества метода перед предыдущими технологиями генетической модификации заключаются в его высокой специфичности и точности, относительной простоте и дешевизне использования, а также в универсальности — система эффективно работает в клетках самых разных организмов, включая древесные породы. Это открывает беспрецедентные возможности для ускоренной селекции, позволяя создавать саженцы с повышенной скоростью роста, устойчивостью к патогенам, вредителям и абиотическим стрессам (засуха, засоление, заморозки), а также с улучшенными качествами древесины.

Однако активное внедрение этой технологии сопряжено с комплексом этических и регуляторных вопросов. Ключевые проблемы включают потенциальные риски нецелевых мутаций (офф-таргет эффектов), долгосрочные экологические последствия выпуска генетически отредактированных организмов в природу, например, риск неконтролируемого распространения измененных генов, а также социальные и моральные аспекты, требующие открытого диалога с обществом. В настоящее время ведется активная разработка международных стандартов и нормативных актов, направленных на обеспечение безопасности и предсказуемости применения CRISPR/Cas9, что является необходимым условием для реализации её полного потенциала в практике устойчивого лесовосстановления и лесного хозяйства. [5]

Современный подход к лесовосстановлению кардинально трансформируется за счет внедрения интегрированных роботизированных систем, которые образуют многоуровневый технологический комплекс. В основе этого комплекса лежат беспилотные летательные аппараты (БПЛА), выполняющие функции воздушной разведки и мониторинга. Они оснащаются оборудованием, включая лидарные системы для построения высокоточных трехмерных моделей рельефа, мультиспектральные камеры для оценки индексов вегетации и состояния почв, а также высокоточные GNSS-модули для геопозиционирования. БПЛА проводят предварительное обследование территорий, определяя участки, пригодные для восстановления, составляя цифровые карты и планируя оптимальные маршруты для наземной техники. Кроме того, они осуществляют последующий мониторинг приживаемости саженцев и оценку воздействия природных факторов, обеспечивая обратную связь для корректировки действий в реальном времени. Наземным звеном системы выступают автономные платформы, специально разработанные для работы в сложных условиях лесных территорий. Эти машины

обладают повышенной проходимостью благодаря адаптивным подвескам и системам управления движением, что позволяет им передвигаться по пересеченной местности, заросшей пнями и порослью. Их ключевыми характеристиками являются высокая маневренность для работы в условиях плотного древостоя, энергоэффективность, обеспечивающая длительную автономную работу, и устойчивость к внешним воздействиям. Платформы оснащены комплектом датчиков (лидары, радары, камеры), системами навигации и бортовыми компьютерами, что позволяет им самостоятельно ориентироваться в пространстве, избегать препятствий и точно следовать по заданному маршруту. Сердцем наземных роботов являются посадочные модули — роботизированные манипуляторы и специализированные устройства, которые обеспечивают непосредственно процесс посадки. Эти системы способны готовить посадочные места (например, рыхлить почву или удалять мешающие элементы), с высокой точностью размещать саженцы или семена на заданную глубину и с оптимальным интервалом, вносить необходимые удобрения или гидрогели и сразу же осуществлять контроль качества выполненной операции. Это позволяет минимизировать человеческий труд на самых трудоемких операциях и обеспечивать высокую равномерность и приживаемость культур. [1] Важным аспектом является интеграция всех компонентов в единую систему. БПЛА, наземные платформы и центральный пункт управления объединены сетью для автоматизированного обмена данными. Информация, собранная с дронов, используется для построения карт и задания рабочих заданий наземным роботам, которые, в свою очередь, передают данные о выполненных операциях и состоянии участка.

Современный подход к лесовосстановлению трансформируется от разрозненных операций к созданию целостной, полностью интегрированной технологической экосистемы, где все этапы — от диагностики до мониторинга — связаны единым цифровым контуром управления. Основой этой системы является сквозная цифровизация процессов и применение искусственного интеллекта, что позволяет достичь беспрецедентной точности, эффективности и адаптивности в восстановлении лесных массивов. Цикл начинается с этапа высокоточной диагностики территории, который осуществляется с помощью флота беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных мультиспектральными, гиперспектральными камерами и лидарным оборудованием. Эти комплексы проводят детальное дистанционное зондирование, в результате которого создаются высокодетализированные 3D-модели рельефа и фитомассы, анализируется гранулометрический состав и влажность почвы, оценивается индекс NDVI для выявления остаточных растительных сообществ и потенциальных очагов болезней. Собранные массивы больших данных (Big Data) поступают в систему искусственного интеллекта, которая на основе машинного обучения проводит комплексный анализ, классифицируя участки по пригодности для посадки, прогнозируя потенциальные риски (эрозия, подтопление) и определяя оптимальные агротехнические параметры для каждой микрозоны. На этапе проектирования автоматизированная система, используя результаты предварительного анализа, формирует индивидуальный цифровой паспорт и детальный план восстановления для каждого участка. Алгоритм проектирования синтезирует множество факторов: климатические особенности (количество осадков, инсоляцию, розу ветров), почвенные характеристики (кислотность, содержание макро- и микроэлементов), гидрологический режим местности, целевой видовой состав будущего насаждения и рекомендует оптимальные пространственные схемы посадки (например, куртинное распределение для усиления устойчивости экосистемы). Далее в работу вступает автономная сельскохозяйственная техника — тракторы и почвообрабатывающие комплексы, управляемые по системе высокоточного позиционирования (RTK-GPS), которые осуществляют подготовку территории: проводят щадящую расчистку, выполняют предпосадочную обработку почвы (например, полосную или пятнами, чтобы минимизировать нарушение существующих экологических связей), формируют посадочные места с заданной геометрией и вносят стартовые дозы органоминеральных удобрений пролонгированного действия, состав которых подобран исходя из данных почвенного анализа. Ключевой этап посадки выполняют роботизированные платформы на гусеничном или колесном шасси, которые обеспечивают

прецизионное высаживание генетически оптимизированных саженцев с закрытой корневой системой. Манипуляторы с компьютерным зрением точно позиционируют растение, соблюдая заданную глубину и ориентацию, а сопутствующее оборудование сразу вносит в прикорневую зону гидрогели для удержания влаги, микоризные инокулянты для улучшения минерального питания и устанавливает миниатюрные датчики для последующего мониторинга. (Рисунок 5)

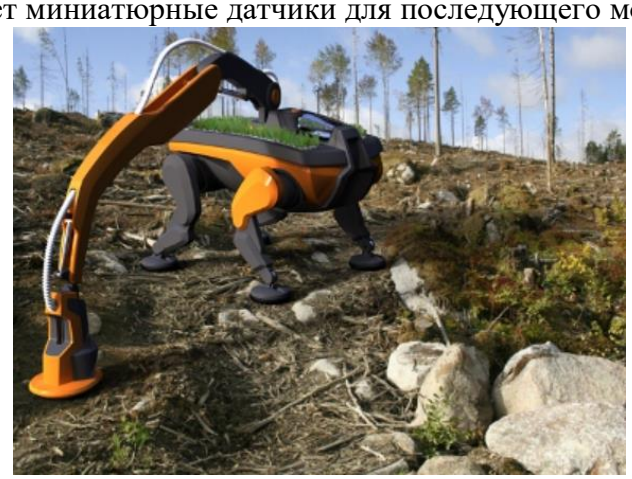


Рисунок 5

Завершающей и непрерывной фазой является комплексный мониторинг, который реализуется за счет регулярных облетов БПЛА и сбора телеметрии с наземных сенсоров, отслеживающих жизненно важные показатели: тургор саженцев, влажность почвы в корневой зоне, динамику прироста биомассы и температуру. Получаемые данные в реальном времени обрабатываются AI, который выявляет аномалии (например, очаги засухи или болезней) и либо автоматически дает команды на точечное вмешательство (активация системы капельного полива, внесение средств защиты), либо формирует задание для роботизированных платформ для проведения корректирующих мероприятий — подсадки, подкормки или обработки. Таким образом, создается замкнутый, самообучающийся и адаптивный технологический цикл, где все компоненты функционируют как единый организм, что обеспечивает максимальную приживаемость и формирование устойчивых, жизнеспособных и продуктивных лесных экосистем нового поколения.

Симбиоз передовых биотехнологий и робототехники знаменует собой рождение принципиально новой парадигмы в лесовосстановлении Интеграция генетически оптимизированного посадочного материала, созданного методами ускоренной селекции и CRISPR, с автономными роботизированными комплексами кардинально меняет подходы к восстановлению лесов, переводя их на качественно иной уровень точности, эффективности и масштабируемости. Прогнозируемым результатом этого технологического синтеза станет значительное снижение стоимости восстановления одного гектара леса за счет резкого сокращения ручного труда и повышения приживаемости саженцев. Возрастут не только темпы, но и качество лесовосстановительных работ, поскольку каждый этап — от анализа экологических условий до посадки — будет основан на данных и алгоритмически оптимизирован. Важно, что эта трансформация создаст новый сектор «зеленой» экономики, породив спрос на высококвалифицированные кадры: операторов дронов и роботов, генетиков и инженеров-робототехников, способных разрабатывать и обслуживать эти сложные системы. Условием успеха является междисциплинарное сотрудничество между биологами, инженерами, экологами, экономистами и законодателями. Требуются целевые инвестиции в исследования и разработки, направленные на адаптацию технологий к специфике различных экосистем. Наконец, необходимо создание адаптивной и научно обоснованной нормативной базы, которая обеспечит безопасное и ответственное применение новых методов, таких как генное редактирование, и будет стимулировать внедрение автоматизированных решений.

Список литературы

1. Автономные роботы в лесозаготовке: мечта или реальность? // Росстип. URL: https://rosstip.ru/news/3661-avtonomnye-roboty-v-lesozagotovke-mechta-ili-realnost (дата обращения: 30.08.2025).
2. Лесные ресурсы и их рациональное использование. URL: https://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b2c/qffe9.pdf (дата обращения: 30.08.2025).
3. Маркёрная и геномная селекция в растениеводстве // Сфера. URL: https://sfera.fm/articles/rasteniewodstvo/markernaya-i-genomnaya-selektsiya-v-rastenievodstve (дата обращения: 30.08.2025).
4. Методом редактирования оснований удалось вылечить модельные генетические заболевания у мышей и макак // Элементы. Новости науки. URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/433839/Metodom_redaktirovaniya_osnovaniy_udalos_vylechit_modelnye_geneticheskie_zabolevaniya_u_myshey_i_makak (дата обращения: 30.08.2025).
5. Н.В. Богатырева, Ю.С. Гусев, Е.М. Моисеева, А.Ю. Соколов, М.И. Чумаков. Правовое положение растений, полученных с использованием технологии редактирования генома: перспективы для России / Н.В. Богатырева, Ю.С. Гусев, Е.М. Моисеева, А.Ю. Соколов, М.И. Чумаков. МНЕНИЯ, ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ – Том 19 № 1 – 2021 г. – 89-101 с. URL: file:///C:/Users/avdon/Downloads/42532-129699-1-PB.pdf (дата обращения: 30.08.2025).
6. Почему саженцы не приживаются: 10 основных причин // Газоны и растения. URL: https://gazonov.com/blog/note/top-10-prichin-pochemu-sazhency-ne-prizhivayutsya (дата обращения: 29.08.2025).
7. Сборник научных трудов / Материалы научно-практической конференции. С. 36. URL: https://ami.im/sbornik/MNPK-632-1.pdf (дата обращения: 29.08.2025).
8. Соматический эмбриогенез // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Соматический_эмбриогенез (дата обращения: 30.08.2025).
9. Статистика вырубки лесов // Вавилон. URL: https://vawilon.ru/statistika-vyrubki-lesov/ (дата обращения: 29.08.2025).
10. Федеральный закон «Об охране окружающей среды». URL: https://docs.cntd.ru/document/9016191/titles/7DE0K7 (дата обращения: 30.08.2025).

References

1. Autonomous robots in logging: dream or reality? [Electronic resource] // Rosstype. URL: https://rosstip.ru/news/3661-avtonomnye-roboty-v-lesozagotovke-mechta-ili-realnost (date of access: 08/30/2025).
2. Forest resources and their rational use. URL: https://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b2c/qffe9.pdf (date of access: 08/30/2025).
3. Marker and genomic breeding in crop production // Sphere. URL: https://sfera.fm/articles/rasteniewodstvo/markernaya-i-genomnaya-selektsiya-v-rastenievodstve (date of request: 30.08.2025).
4. The method of base editing was used to cure model genetic diseases in mice and macaques [Electronic resource] // Elements. Science news. URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/433839/Metodom_redaktirovaniya_osnovaniy_udalos_vylechit_modelnye_geneticheskie_zabolevaniya_u_myshey_i_makak (date of request: 30.08.2025).
5. N.V. Bogatyreva, Y.S. Gusev, E.M. Moiseeva, A.Y. Sokolov, M.I. Chumakov. The legal status of plants obtained using genome editing technology: prospects for Russia / N.V. Bogatyreva, Y.S. Gusev, E.M. Moiseeva, A.Y. Sokolov, M.I. Chumakov. OPINIONS, HYPOTHESES, DISCUSSION ISSUES – Volume 19 No. 1 – 2021 – 89-101 p. URL: file:///C:/Users/avdon/Downloads/42532-129699-1-PB.pdf (accessed: 08/30/2025).
6. Why seedlings don't take root: 10 main reasons [Electronic resource] // Lawns and plants. URL: https://gazonov.com/blog/note/top-10-prichin-pochemu-sazhency-ne-prizhivayutsya (date of access: 08/29/2025).

7. Collection of scientific papers [Electronic resource] / Materials of the scientific and practical conference. p. 36. URL: https://ami.im/sbornik/MNPK-632-1.pdf (date of access: 08/29/2025).

8. Somatic embryogenesis [Electronic resource] // Wikipedia. The free encyclopedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Somatic_embriogenesis (accessed: 08/30/2025).

9. Statistics of deforestation [Electronic resource] // Babylon. URL: https://vawilon.ru/statistika-vyrubki-lesov / (date of reference: 08/29/2025).

10. Federal Law "On Environmental Protection" URL: https://docs.cntd.ru/document/9016191/titles/7DE0K7 (date of request: 30.08.2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_386-392
УДК 634.17

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ САМООПЫЛЕНИЯ ВИДОВ РОДА *CRATAEGUS* L.

Ю.В. Александрова

к.с.-х.н., доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов,
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Россия

Аннотация.
В статье рассмотрены особенности самоопыления некоторых видов рода *Crataegus* L. в условиях интродукции (г. Архангельск). Исследования, проведённые в 2023 г. и 2024 г. показали, что при самоопылении образуется мало или не образуются плоды, а также формируются в основном пустые семена. При свободном опылении отмечено, что качественные показатели несколько выше, однако остаются низкими, что характерно для рода *Crataegus* L.

Ключевые слова: боярышник, *Crataegus* L., интродукция, семена, самоопыление, семенная продуктивность.

RESULTS OF SELF-POLLINATION STUDIES OF SPECIES OF THE GENUS *CRATAEGUS* L.

Iu.V. Aleksandrova
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,Russia

Abstract. The article examines the features of self-pollination in certain species of the genus Crataegus L. under conditions of introduction (Arkhangelsk). Studies conducted in 2023 and 2024 showed that self-pollination results in few or no fruits being formed, and mainly produces empty seeds. Under free pollination, it was noted that the quality indicators are somewhat higher, but still remain low, which is characteristic of the genus Crataegus L.

Keywords: hawthorn, *Crataegus* L., introduction, seeds, self-pollination, seed productivity**.**

Введение. Род *Crataegus* L. – один из самых древних и представленных родов семейства *Rosaceae*. В естественных условиях боярышник занимает обширную территорию умеренных и частично субтропических районов северного полушария – между 30° и 60° с. ш. Различные условия произрастания рода обусловливают богатство генофонда [4, 8, 10], что дает возможность для многопрофильного хозяйственного использования боярышника [3, 9, 11].

Представители рода активно используются в мелиоративных целях для создания приовражных и прибалочных противоэрозионных насаждений для закрепления склонов [8, 9].

Большую ценность боярышники имеют в озеленении населенных мест. Как правило встречаются в групповых посадках и живых изгородях при формировании объёмно-

© Александрова Ю. В., 2025

пространственной структуры парков, скверов, бульваров и других объектов озеленения [3, 6, 9].

Для формирования устойчивого зелёного каркаса насаждений в северных городах первостепенное значение имеет подбор ассортимента, устойчивого к неблагоприятным климатическим и эдафическим факторам. Поэтому интродукция видов боярышника в регионы с ограниченным флористическим разнообразием и лимитирующими факторами весьма актуальна.

Плоды, содержащие пектиновые вещества, используют в пищевой промышленности для производства, мармелада, пастилы, конфет, компотов и других кондитерских изделий [12, 14, 17].

Ввиду содержания в плодах и цветках боярышников полифенольных соединений и других веществ – указанное сырьё используют в медицинских целях для лечения сердечно-сосудистых, нервных заболеваний, а также как противовоспалительное и противоопухолевое средство [13, 15, 16].

Изучение особенностей цветения и плодоношения представляет теоретический и практический интерес для понимания особенностей опыления, цветения и плодоношения растений. В книге Деревья и кустарники СССР (1954) указано, что в конце цветения, когда тычинки полностью развиты, возможно и самоопыление [8].

Таким образом цель исследования – оценка способности к самоопылению видов боярышников в условиях интродукции.

Методика и материалы исследований. Исследования проводили в 2023 и 2024 году на базе дендрологического сада имени И.М. Стратоновича (64°33′с.ш. и 40°32′в.д.). Дендрологический сад располагается в центре города Архангельска, что с одной стороны позволяет создать более благоприятные микроклиматические условия за счет эффекта «теплового острова», с другой стороны оценить влияние неблагоприятных факторов урбанизированной среды на рост и развитие растений.

На основе ранее проведённых интродукционных исследований коллекции боярышников в дендрологическом саду имени И.М. Стратоновича по фенологии, цветению и плодоношению, качественным показателям семян, как наиболее адаптированные к условиям интродукционного района и перспективным для дальнейшего хозяйственного использования, в качестве объектов исследования были выбраны 4 вида рода *Crataegus* L.: Б. даурский (*C. dahurica* Koehne ex Schneid,), Б. Максимовича (*C. maximoviczii* Schneider), Б. Дугласа (*C. douglasii* Lindl) и Б. редколесный (*C. lucorum* Sarg.).

Опыт по определению возможности самоопыления у видов боярышников состоял из 2 вариантов: естественное самоопыление и свободное опыление, служившее в качестве контроля. Каждый вариант включал 15 маркированных соцветий. У каждого соцветия учитывалось количество расцветших цветков, количество завязавшихся плодов, морфометрические показатели плодов, количество семян, сформировавшихся в каждом из плодов, морфометрические показатели семян и их доброкачественность. В связи с длительным семенным покоем доброкачественность семян боярышника определяется методом взрезывания согласно ГОСТ 13056.8-97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения доброкачественности».

В варианте с самоопылением изоляцию соцветий проводили за 1-2 дня до распускания цветков [5]. Для изоляции соцветий от насекомых-опылителей использовали спанбонд белого цвета, пропускающий свет, влагу и воздух.

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с применением пакета анализа данных программы Microsoft Excel на 95%-ном уровне значимости.

Результаты исследований. Опыление является одним из этапов семенного размножения растений. При изучении генеративного развития интродуцентов первостепенное внимание должно уделяться выявлению качества семян, поскольку от качества продуцируемых семян зависит возможность семенного размножения растения. В соответствии с литературными данными [3, 6, 8] и согласно результатам ранее проведенных

исследований [1, 2], которые согласуются с информацией из литературных источников, отмечена биологическая особенность боярышников – формирование низкокачественных семян.

Результаты опыта, проводимого в 2023 году, представлены в таблицах 1 и 2

Таблица 1 – Результаты опыления у изолированных соцветий в 2023 году

Исследуемые показатели		Название вида			
		Б. Максимовича	Б. даурский	Б. Дугласа	Б. редколесный
Среднее количество в соцветии, шт	цветки	24,2±0,85	23,3±1,43	14,8±1,17	11,5±0,86
	плоды	0,2±0,18	1,1±0,56	1,2±0,38	0
Морфометрические показатели плодов, мм	длина	9,0±0,09	8,5±0,23	12,2±0,21	-
	диаметр	8,7±0,06	8,3±0,26	9,7±0,26	-
Количество семян в 1 плоде, шт		4,5±0,50	3,1±0,19	4,3±0,21	-
Морфометрические показатели семян, мм	длина	5,4±0,13	5,1±0,04	6,4±0,07	-
	ширина	2,2±0,23	2,3±0,08	2,9±0,09	-
	толщина	3,0±0,15	2,9±0,04	3,3±0,04	-
Качество семян, %	здоровые	-	5,41	26,79	-
	пустые	100	94,59	69,64	-
	сухие	-	-	3,57	-
	загнившие	-	-	-	-
	Поврежденные вредителями	-	-	-	-

Таблица 2 – Результаты исследования при свободном опылении цветков в 2023 году

Исследуемые показатели		Название вида			
		Б. Максимовича	Б. даурский	Б. Дугласа	Б. редколесный
Среднее количество в соцветии, шт	цветки	15,8±1,18	16,3±1,24	14,8±1,17	10,3±0,74
	плоды	4,7±1,24	1,5±0,45	2,5±0,96	1,91±0,55
Морфометрические показатели плодов, мм	длина	10,5±0,10	9,2±0,19	12,4±0,23	13,4±0,33
	диаметр	11,5±1,29	10,2±0,33	10,2±0,26	12,8±0,42
Количество семян в 1 плоде, шт		3,7±0,09	2,6±0,14	4,1±0,18	4,6±0,17
Морфометрические показатели семян, мм	длина	6,2±0,03	5,6±0,10	6,6±0,15	6,7±0,07
	ширина	3,4±0,04	2,9±0,13	3,3±0,09	3,4±0,08
	толщина	3,6±0,04	3,2±0,06	3,4±0,05	4,1±0,07
Качество семян, %	здоровые	4,01	8,57	0	18,68
	пустые	38,84	57,15	48,78	68,13
	сухие	35,27	20	31,7	8,79
	загнившие	1,34	8,57	9,76	4,40
	Поврежденные вредителями	20,54	5,71	9,76	0

Из результатов исследований 2023 года, представленных в таблицах 1 и 2 видно, что в изолированных соцветиях завязывается меньше плодов и меньшего размера относительно контрольного варианта. Немногочисленные сформировавшиеся плоды, в том числе в результате самоопыления, были с семенами. Изоляция соцветий практически не влияет на

количество семян, содержащихся в плодах, однако у семян отмечены меньшие морфометрические показатели, чем в плодах, сформированных при свободном опылении.

Качество семян во всех вариантах низкое: в варианте с самоопылением отмечены малочисленное количество здоровых семян, в основном семена пустые. Загнивших и поврежденных вредителями семян в варианте с изоляцией не обнаружено.

В варианте со свободным опылением также отмечены невысокие показатели доброкачественности семян, что соответствует ранее проведенным и литературным данным. В большом количестве встречаются пустые семена и с усохшим зародышем. В меньшей степени встречаются семена с загнившим зародышем. Отмечено достаточное количество семян, поврежденных вредителями, за исключением семян боярышника редколесного.

В 2024 году были проведены повторные исследования, результаты которых представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты опыления у изолированных соцветий в 2024 году

Исследуемые показатели		Название вида			
		Б. Максимовича	Б. даурский	Б. Дугласа	Б. редколесный
Среднее количество в соцветии, шт	цветки	18,6±1,11	17,3±1,00	15,7±1,01	8,9±0,52
	плоды	0	0	0	0,1±0,07
Морфометрические показатели плодов, мм	длина	-	-	-	13,9±0,07
	диаметр	-	-	-	12,6±0,15
Количество семян в 1 плоде, шт		-	-	-	3,8±0,48
Морфометрические показатели семян, мм	длина	-	-	-	6,3±0,20
	ширина	-	-	-	3,2±0,34
	толщина	-	-	-	3,9±0,12
Качество семян, %	здоровые	-	-	-	20
	пустые	-	-	-	80
	сухие	-	-	-	-
	загнившие	-	-	-	-
	Поврежденные вредителями	-	-	-	-

Таблица 4 – Результаты исследования при свободном опылении цветков в 2024 году

Исследуемые показатели		Название вида			
		Б. Максимовича	Б. даурский	Б. Дугласа	Б. редколесный
Среднее количество в соцветии, шт	цветки	16,6±1,16	17,6±0,96	16,1±1,07	10,9±0,57
	плоды	6,1±1,43	0,9±0,37	5,6±0,62	2,7±0,80
Морфометрические показатели плодов, мм	длина	10,4±0,08	9,3±0,17	10,4±0,10	13,4±0,25
	диаметр	11,1±0,93	10,4±0,29	11,1±0,13	13,0±0,32
Количество семян в 1 плоде, шт		3,9±0,08	2,7±0,13	4,0±0,08	4,9±0,13
Морфометрические показатели семян, мм	длина	6,1±0,02	5,6±0,09	5,7±0,03	6,6±0,06
	ширина	3,4±0,12	2,9±0,12	3,2±0,04	3,3±0,07
	толщина	3,6±0,03	3,2±0,06	3,1±0,02	4,4±0,31
Качество семян, %	здоровые	3,92	8,57	3,51	26,51
	пустые	41,87	62,86	53,35	71,97
	сухие	35,84	17,15	20,13	0,76
	загнившие	1,51	5,71	1,60	0,76

	Поврежденные вредителями	16,86	5,7	21,41	0

В варианте опыта с изолированными соцветиями в 2024 году плоды не завязались, за исключением боярышника редколесного, у которого из семян в немногочисленных сформированных плодах отмечены единичные здоровые семена; в основном отмечены пустые семена. У всех видов был зафиксирован массовый опад завязей.

В варианте со свободным опылением отмечены малочисленные завязи плодов относительно количества цветков в соцветиях. Семена, содержащиеся в плодах, в большинстве случаев формируются пустые, а также с сухим зародышем и поврежденные насекомыми, в меньшей степени – загнившие. Доброкачественных семян небольшое количество, что характерно для представителей рода *Crataegus* L.

Заключение. Результаты исследований по плодоношению показывают, что при изоляции соцветий наблюдается обильный опад завязей и завязываются малочисленные плоды. Семена формируются в основном пустые, доброкачественных семян формируется мало. В варианте опыта с изоляцией соцветий отмечены меньшие морфометрические показатели семян относительно семян, завязывавшихся при свободном опылении.

В контрольном варианте опыта (при свободном опылении) наблюдается нормальное развитие плодов. Качество семян в плодах, в соответствии с видовыми характеристиками низкое – от 3,5 % до 26,5 % доброкачественных. В основном формируются пустые семена или с сухим зародышем, реже – загнившие или повреждённые вредителями.

Список литературы

1. Александрова Ю.В., Петрик В.В. Доброкачественность семян боярышников, произрастающих в дендрологическом саду САФУ имени М.В. Ломоносова // Ландшафтная архитектура в ботанических садах и дендропарках: материалы IX международ. науч. конф. (4-6 сентября 2017). – Соловки, 2017. – С. 122–125.
2. Александрова Ю.В., Бабич Н.А. Интродукция видов рода Crataegus L. в дендрологическом саду имени И.М. Стратоновича // Материалы XI Международной научной конференции Ландшафтная архитектура в ботанических садах и дендропарках. – 2019. – С. 85–89.
3. Вафин Р.В., Путенихин В.П. Боярышники. Интродукция и биологические особенности : монография. – М.: Наука, 2003. – 224 с.
4. Криштофович А.Н. Палеоботаника : учебник / 4-е изд. – Л.: Гостоптехиздат, 1957. – 650 с.
5. Малаховец П. М., Тисова В. А. Рост и сезонное развитие деревьев и кустарников при интродукции в условиях Севера / П. М. Малаховец, В. А. Тисова // Лесной журнал. – 2000. – № 1. – С. 34–39.
6. Мухаметова С.В. Отбор и способы размножения представителей рода боярышник (Crataegus L.) в условиях Республики Марий Эл: дис. … канд. с.-х. наук: 06.03.01 / Мухаметова Светлана Валерьевна. – Йошкар-Ола, 2017. – 221 с.
7. Некрасов В. И. Основы семеноведения древесных растений при интродукции / В. И. Некрасов. – Москва: Наука, 1973. – 279 с.
8. Полетико О.М. Боярышник Crataegus L. // Деревья и кустарники СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – Т. 3. – С. 514–577.
9. Соловьева Н.М., Котелова Н.В. Боярышник – М.: Агропромиздат, 1986. – 72 с.
10. Циновскис Р.Е. Боярышники Прибалтики – Рига: Издательство «Зинатие», 1971. – 389 с.
11. Huang X., Liu S., Lou L. Phenylpropanoids from Crataegus pinnatifida and their chemotaxonomic importance // Biochemical Systematics and Ecology. – 2014. – № 54. – С. 208–212.
12. Li L., Gao X., Liu J. Hawthorn pectin: Extraction, function and utilization / L. Li, X. Gao, J. Liu et al. // Current Research in Food Science. – 2021. – Т. 4. – С. 429–435.

13. Murray M. T. Crataegus oxyacantha (Hawthorn) / M. T. Murray // Textbook of Natural Medicine (Fifth Edition). – 2020. – С. 544–547.e1.
14. Ozcelik F., Akan E., Kinik O. Use of Cornelian cherry, hawthorn, red plum, roseship and pomegranate juices in the production of water kefir beverages / F. Ozcelik, E. Akan, O. Kinik // Food Bioscience. – 2021. – Т. 42, August. – 101219.
15. Peng Y., Lou L., Liu S. Antioxidant and anti-inflammatory neolignans from the seeds of hawthorn / Y. Peng, L. Lou, S. Liu et al. // Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. – 2016. – № 26. – С. 5501–5506.
16. Sagaradze V. A., Babaeva E. Yu., Ufimov R. A. Study of the variability of rutin, vitexin, hyperoside, quercetin in «Crataegi forum cum flore» of hawthorn (Crataegus L.) species from Russian flora / V. A. Sagaradze, E. Yu. Babaeva, R. A. Ufimov et al. // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. – 2019. – Т. 15. – 100217.
17. Strelets V. D., Balabanov V. I., Vinogradova O. A. Prospects of hawthorn introduction into industrial fruit culture / V. D. Strelets, V. I. Balabanov, O. A. Vinogradova // Science-almanac. – 2015. – № 2 (2). – С. 13–18.

References

1. Aleksandrova Yu.V., Petrik V.V. Seed viability of hawthorns growing in the dendrological garden of Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov // Landscape architecture in botanical gardens and dendroparks: materials of the 9th International Scientific Conference (September 4–6, 2017). – Solovki, 2017. – P. 122–125.
2. Aleksandrova Yu.V., Babich N.A. Introduction of Crataegus L. species in the dendrological garden named after I.M. Stratonovich // Proceedings of the 11th International Scientific Conference Landscape Architecture in Botanical Gardens and Dendroparks. – 2019. – P. 85–89.
3. кaVafin R.V., Putenikhin V.P. Hawthorns. Introduction and biological characteristics : monograph. – Moscow: Nauka, 2003. – 224 p.
4. Krishtofovich A.N. Paleobotany : textbook / 4th ed. – Leningrad: Gostoptekhizdat, 1957. – 650 p.
5. Malakhovets P. M., Tisova V. A. Growth and seasonal development of trees and shrubs under introduction conditions in the North / P. M. Malakhovets, V. A. Tisova // Forestry Journal. – 2000. – No. 1. – P. 34–39.
6. Mukhametova S.V. Selection and propagation methods of hawthorn species (Crataegus L.) under conditions of the Republic of Mari El: dissertation for the degree of Candidate of Agricultural Sciences: 06.03.01 / Mukhametova Svetlana Valeryevna. – Yoshkar-Ola, 2017. – 221 p.
7. Nekrasov V. I. Fundamentals of Seed Science of Woody Plants in Introduction / V. I. Nekrasov. – Moscow: Nauka, 1973. – 279 p.
8. Poletiko O.M. Hawthorn Crataegus L. // Trees and shrubs of the USSR. – Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1954. – Vol. 3. – P. 514–577.
9. Solovyeva N.M., Kotelova N.V. Hawthorn . – Moscow: Agropromizdat, 1986. – 72 p.
10. Zinovskis R.E. Hawthorns of the Baltic States . – Riga: Zinatne Publishing House, 1971. – 389 p.
11. Huang X., Liu S., Lou L. Phenylpropanoids from Crataegus pinnatifida and their chemotaxonomic importance // Biochemical Systematics and Ecology. – 2014. – № 54. – С. 208–212.
12. Li L., Gao X., Liu J. Hawthorn pectin: Extraction, function and utilization / L. Li, X. Gao, J. Liu et al. // Current Research in Food Science. – 2021. – Т. 4. – С. 429–435.
13. Murray M. T. Crataegus oxyacantha (Hawthorn) / M. T. Murray // Textbook of Natural Medicine (Fifth Edition). – 2020. – С. 544–547.e1.

14. Ozcelik F., Akan E., Kinik O. Use of Cornelian cherry, hawthorn, red plum, roseship and pomegranate juices in the production of water kefir beverages / F. Ozcelik, E. Akan, O. Kinik // Food Bioscience. – 2021. – T. 42, August. – 101219.
15. Peng Y., Lou L., Liu S. Antioxidant and anti-inflammatory neolignans from the seeds of hawthorn / Y. Peng, L. Lou, S. Liu et al. // Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. – 2016. –
№ 26. – С. 5501–5506.
16. Sagaradze V. A., Babaeva E. Yu., Ufimov R. A. Study of the variability of rutin, vitexin, hyperoside, quercetin in «Crataegi forum cum flore» of hawthorn (Crataegus L.) species from Russian flora / V. A. Sagaradze, E. Yu. Babaeva, R. A. Ufimov et al. // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. – 2019. – T. 15. – 100217.
17. Strelets V. D., Balabanov V. I., Vinogradova O. A. Prospects of hawthorn introduction into industrial fruit culture / V. D. Strelets, V. I. Balabanov, O. A. Vinogradova // Science-almanac. – 2015. – № 2 (2). – С. 13–18.

DOI: 10.58168/Forestry2025_393-399
УДК 630.114.5

ВЛИЯНИЕ КАЛИБРОВАНИЯ СЕМЯН НА ВЫСОТУ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ ИХ ВЫРАЩИВАНИИ В ПИТОМНИКЕ

А.Д. Голев
к.т.н,, доцент, доцент кафедры «Производство, ремонт и эксплуатация машин»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»
г. Воронеж, Россия

В.А. Иванников
д.т.н, доцент, заведующий кафедрой «Производство, ремонт и эксплуатация машин»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»
г. Воронеж, Россия

В.Н. Бухтояров
к.т.н,, доцент, доцент кафедры «Производство, ремонт и эксплуатация машин»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»
г. Воронеж, Россия

Р.А. Кораблёв
к.т.н,, доцент, доцент кафедры «Организации перевозок и безопасности движения»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»
г. Воронеж, Россия

Г.Г. Голева
д.с.-х.н., доцент, заведующий кафедрой селекции, семеноводства и биотехнологии
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I
г. Воронеж, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследований по влиянию калибрования семян сосны обыкновенной (Pinus sylvestris) по толщине на изменение высоты сеянцев при выращивании их в питомнике. Исследование проводилось в 2022-2023 гг. на базе ГАУ «Ленинский лесхоз» Липецкой области в соответствии с договором о научно-исследовательской деятельности. Объект исследования - сеянцы сосны обыкновенной, выращенные из семян, предварительно откалиброванных по размеру (толщине). Партия семян сосны обыкновенной перед посевом была откалибрована по толщине с использованием безрешетной технологии на четыре размерные фракции (мелкие, средние, среднекрупные, крупные). Размерный промежуток во фракциях определялся экспериментально с помощью концевых мер. В качестве контроля использовали некалиброванные семена. Полученные фракции семян были высеяны на лесном питомнике во второй декаде апреля 2023 г. узкострочным способом. Цель исследования – оценка влияния калибрования семян сосны обыкновенной по толщине на изменение высоты сеянцев при выращивании их в питомнике. Было установлено, что в конце первого вегетационного периода разница по среднему показателю высоты сеянцев из семян мелкой, средней и среднекрупной фракции примерно одинакова и колеблется в пределах 3 – 10 мм. Высота сеянцев выращенных из крупных семян больше по сравнению с первыми тремя фракциями и отличается по 15, 8 и и5 мм соответственно и на 12 мм, по сравнению с сеянцами из контрольного образца

Ключевые слова. Семена, калибрование, сосна обыкновенная, высота сеянцев

© Голев А. Д., Иванников В. А., Бухтояров В. Н., Кораблёв Р. А., Голева Г. Г., 2025

EFFECT OF SEEDS CALIBRATION ON THE HEIGHT OF SEEDLINGS OF THE COMMON PINE DURING THEIR GROWING IN A NURSERY

A.D. Golev
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production,
Repair, and Operation of Machines,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

V.A. Ivannikov,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Production, Repair, and Operation of Machines,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

V.N. Bukhtoyarov
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production, Repair, and Operation of Machines,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

R.A. Korablyov
Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transportation Organization and Traffic Safety,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

G.G. Goleva
Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Breeding, Seed Production, and Biotechnology
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I
Voronezh, Russia

Abstract. The results of studies on the effect of seed thickness calibration of Scots pine (Pinus sylvestris) on the change in the height of seedlings when growing them in a nursery are presented. The study was conducted in 2023-2024 on the basis of the State Forestry Enterprise "Leninsky Forestry" of the Lipetsk Region in accordance with the contract No. ... The object of the study is Scots pine seedlings grown from seeds that were previously calibrated in size (thickness). Before sowing, a batch of Scots pine seeds was calibrated by thickness using a non-sieve technology into four size fractions (small, medium, medium-large, and large). The size gap in the fractions was determined experimentally using end measures. Uncalibrated seeds were used as a control. The resulting seed fractions were sown in a forest nursery in the second decade of April 2023 using a narrow-row method. The purpose of this study is to evaluate the effect of seed thickness calibration on the height of Scots pine seedlings during their cultivation.

Keywords: Seeds, calibration, Scots pine, seedling height

Введение. Вопрос о сортировании (калибровании) лесных семян хвойных пород по размеру (толщине) всегда имел чрезвычайную актуальность.

Калибрование семян – это прием, позволяющий достигать высокой однородности посева, увеличения выхода сеянцев с единицы площади за счет снижения конкуренции между сеянцами [9].

Известно, что калибрование семян хвойных пород по крупности необходимо проводить в целях рационального использования, как крупных, так и мелких семян и создания оптимальных условий для роста и развития сеянцев [2].

Необходимо отметить тот факт, что использование толщины семян для их калибрования является наиболее эффективным способом отбора наиболее жизнеспособных семян [10-13].

В то же время многочисленными опытами установлено [14-18], что при посеве некалиброванными семенами, сеянцы, выросшие из мелких семян, как правило, не достигают стандартных размеров. Это происходит потому, что они не выдерживают конкуренцию с крупными сеянцами, выросшими из крупных семян. Сеянцы, не достигшие стандартных размеров, подлежат выбраковыванию и утилизации. Однако, по мнению Юрре [7,8] в мелких семенах сосны обыкновенной могут содержаться ценные экотипы. В связи с этим посев некалиброванными семенами может привести к снижению генетического разнообразия на лесокультурных площадях со всеми вытекающими последствиями

Эти выводы являются основанием для проведения исследований по влиянию сортирования (калибрования) семян хвойных пород по размеру (толщине) на морфо-биологические признаки сеянцев. Калибрование семян сосны обыкновенной по толщине с использованием безрешетной технологии и раздельный высев полученных фракций дает положительный эффект. Данный эффект заключается в том, что создаются благоприятные условия для роста и развития сеянцев всех фракций благодаря отсутствию ярко выраженной конкуренции между ними [1].

В связи с этим *цель* исследований состояла в оценке влияния калибрования семян сосны обыкновенной по толщине на высоту сеянцев при раздельном посеве фракций на лесопитомниковых площадях.

Материал и методика исследований. Объектом исследования послужили семена сосны обыкновенной (таблица 1).

Таблица 1– Характеристика семян сосны обыкновенной по посевным качествам

Толщина семян, мм		Масса семян, г		Чистота, %	Всхожесть, %	Год сбора
min	max	1000 шт.	партии			
1,1	2,1	8,1	54000	96	94	2022

С использованием безрешетной технологии [3-6] было получено четыре размерные фракции – мелкую, среднюю, среднекрупную и крупные фракции. Размерный промежуток во фракциях определялся экспериментально, с помощью концевых мер. Оценка посевных качеств семян проведена в лаборатории ВНИЛГИСбиотех (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты оценки посевных качеств семян

Фракция	Посевные качества семян			
	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Чистота, %	Масса 1000 шт. семян, г
Мелкая	73	76	93	5,5
Средняя	79	83	94	6,3
Среднекрупная	85	92	96	7,8
Крупная	87	96	97	8,9
Контроль	85	94	96	8,1

В качестве контроля использовались некалиброванные семена.

Исследования проводили в 2022-2023 гг. на территории питомника «Ленинского лесхоза» Липецкой области в рамках выполнения договора о научно-исследовательской деятельности № 15/22. Полученные фракции семян были высеяны на лесопитомниковых площадях раздельно. Посев осуществлялся во второй декаде апреля 2022 года узкострочным способом. На каждом варианте опыта было выделены по четыре учетные площадки длиной 1 м. В течение периодов вегетации сеянцев ежемесячно проводился учет динамики высоты растений сосны обыкновенной.

Результаты исследований.

По нашим наблюдениям первыми появились всходы крупных семян, а также незначительное количество в контрольном варианте. Очевидно, это можно объяснить тем, что в контрольном варианте имелось некоторое количество крупных семян, которые обладая одинаковыми показателями роста с откалиброванными крупными семенами, соответственно, проросли в одни и те же сроки. С разницей в один – два дня стали появляться всходы из средне-крупных семян. Всходы из средних семян появились через два – три дня после всходов из среднекрупных. Через три – четыре дня после появления всходов средних семян стали появляться всходы из мелких семян. Таким образом, разница по срокам появления всходов между крупными и мелкими фракциями семян изменялась в пределах 6 - 9 дней. Такая разница по срокам появления всходов, по нашему мнению, связана с целым рядом факторов. Во-первых, из-за уменьшения запасов влаги в почве преимущество имеют растения, которые раньше взошли (то есть сеянцы крупных семян). Во-вторых, при увеличении периода появления всходов на почве происходит процесс коркообразования, который затрудняет появление всходов, что, в конечном счете, приводит к значительному сокращению общего количества сеянцев в этих посевах. В-третьих, запас питательных веществ у мелких и средних семян значительно меньше, чем в среднекрупных и крупных, что, в конечном счете, серьезно снижает грунтовую всхожесть этих семян по сравнению с более крупными. Все эти факторы негативно сказываются на росте сеянцев.

Первый измерения высоты сеянцев были выполнены 20 мая 2022 г. примерно через три недели после появления всходов. Заметной разницы по вариантам опыта в первые недели и последующий месяц не наблюдалось (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика высоты сеянцев сосны обыкновенней, 2022 г.

Месяц	Высота растений, мм				
	мелкая фракция	средняя фракция	средне-крупная фракция	крупная фракция	контроль
Май	22	25	28	29	25
Июнь	30	33	36	38	34
Июль	35	39	43	44	38
Август	42	44	49	52	44
Сентябрь	51	55	60	67	58
Октябрь	63	70	73	78	66

Анализ динамики роста сеянцев сосны обыкновенной в первый год вегетации свидетельствует о том, что размер сеянцев, выращенных из крупных и среднекрупных семян выше, чем из мелких семян и контроля. Вместе с тем, можно отметить тот факт, что в начальный период роста сеянцев (май, июнь) заметного влияния калибрования семян на рост сеянцев отмечено не было. По нашему мнению, это связано с особенностью вегетативного развития сосны обыкновенной в начальный период роста.

В то же время необходимо заметить, что выравненность сеянцев по высоте в пределах варианта опыта в период с августа по октябрь снижалась. Так в делянках с сеянцами, выросшими из мелких семян, разница между минимальными и максимальными размерами по

высоте составила 7 мм. У сеянцев, выросших из средних семян, разница по высоте между минимальным и максимальным размерами сеянцев составила 10 мм, среднекрупных семян – 13 мм, крупных – 20 мм. В контрольном варианте эта величина составила 42 мм.

Анализ динамики роста сеянцев сосны обыкновенной во второй вегетационный период (2023 г.) позволил установить, что с мая по июнь растения росли медленно и в среднем прирост составлял 7 … 12 мм (таблица 4).

Таблица 4 – Динамика высоты сеянцев сосны обыкновенней, 2023 г.

Месяц	Высота растений, мм				
	мелкая фракция	средняя фракция	средне-крупная фракция	крупная фракция	контроль
Май	71	76	78	80	74
Июнь	78	83	87	91	82
Июль	91	130	137	144	128
Август	122	164	170	171	160
Сентябрь	141	170	187	192	183
Октябрь	163	211	236	265	237

С июля по октябрь прирост высоты растений в месяц составил у сеянцев, выросших из мелких семян от 21 до 31 мм и, средних семян – от 15 мм до 34, среднекрупных семян – от 17 до 39 мм, крупных семян – 14 до 72 мм, контроля – от 23 до 54 мм. Практически на всех вариантах опыта наименьший прирост был отмечен в период с августа по сентябрь. Вероятно, это было связано с отсутствием осадков в этот период. С сентября по октябрь были зафиксированы обильные осадки, в результате чего прирост был наивысшим и по разным опытам составил от 23 до 72 мм.

В то же время было установлено, что изменчивость высоты сеянцев, выросших из мелких семян составил – 53 мм, средних семян – 48 мм, среднекрупных семян – 62 мм, крупных семян – 74 мм, у сеянцев, контроля – 124 мм.

Заключение.

1. В начале первого года вегетации разница по срокам появления всходов между крупными и мелкими фракциями семян изменялась в пределах 6 - 9 дней, причем первыми появились всходы семян крупной фракции.

2. С середины июля, разница между вариантами опыта увеличилась. Наиболее заметным это было в период с августа по октябрь.

3. В конце первого вегетационного периода высота сеянцев, выращенных из крупных семян, превышала контроль на 12 мм, а сеянцев из мелких, средних и среднекрупных семян на 15 мм, 8 мм и 5 мм – соответственно.

4. Выравненность сеянцев по высоте в пределах варианта опыта в период с августа по октябрь снижалась. Разница между минимальными и максимальными размерами по высоте сеянцев, выросших из мелких семян, составила 7 мм, средних семян – 10 мм, среднекрупных семян – 13 мм, крупных – 20 мм. В контрольном варианте эта величина составила 42 мм.

5. В начале второго вегетационного периода растения росли медленно и в среднем прирост составлял 7 … 12 мм. Изменчивость высоты сеянцев, выросших из мелких семян, составил – 53 мм, средних семян – 48 мм, среднекрупных семян – 62 мм, крупных семян – 74 мм, у сеянцев, контроля – 124 мм.

6. В результате проведенных исследований установлено, что сеянцы, полученные из калиброванных семян, характеризуются большей выравненностью по высоте. Сеянцы, выросшие из семян крупной фракции, характеризовались более ранним появлением всходов и большим их количеством на единице площади питомника.

Список литературы

1. Повышение продуктивности лесных питомников при выращивании сеянцев сосны обыкновенной / А. Д. Голев, В. А. Иванников, В. Н. Бухтояров, Г. Г. Голева // Лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы: вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата : Материалы Международного лесного форума, Воронеж, 29–30 сентября 2022 года / Отв. редактор Н.В. Яковенко. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 17-23. – DOI 10.58168/IFF2022_17-23. – EDN KRSZWJ.

2. Свиридов Л Т 2002 Сортирование лесных семян. (Воронеж. Воронежская государственная лесотехническая академия) 298 с.

3. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДАЧИ СЕМЯН Голев А.Д., Голева Г.Г., Иванников В.А., Бухтояров В.Н. Патент на изобретение RU 2677302 C1, 16.01.2019. Заявка № 2018113041 от 10.04.2018.

4. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДАЧИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА Голев А.Д., Голева Г.Г., Иванников В.А., Бухтояров В.Н. Патент на изобретение 2725195 C1, 30.06.2020. Заявка № 2019144355 от 24.12.2019.

5. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДАЧИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА Голев Александр Дмитриевич, Голева Галина Геннадьевна, Иванников Валерий Александрович, Бухтояров Владимир Николаевич Патент на изобретение 2749367 C1, 09.06.2021. Заявка № 2020139655 от 01.12.2020.

6. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДАЧИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА Голев А.Д., Голева Г.Г., Иванников В.А., Бухтояров В.Н. Патент на изобретение 2743029 C1, 12.02.2021. Заявка № 2020126730 от 10.08.2020.

7. Юрре Н.А. Экономия лесных семян и повышение выхода посадочного материала в питомниках / Н.А. Юрре // Лесное хозяйство.–1953.–№3.–С.19-22.

8. Юрре Н.А. Сеять выровненными по крупности семенами // Лес. хоз-во.– 1951.– №3.– с. 31–32.

9. Belcher EW, Leach GN, Gresham HH (1984) Sizing slash pine seeds as a nursery procedure. Tree Planters' Notes 35(2):5-10.

10. Kaliniewicz Z, Markowski P, Anders A, Jadwisieńczak K, Zuk Z, Krzysiak Z 2019 Physical properties of seeds of eleven fir species Forests 10 (2) 142 DOI:10.3390/f10020142

11. Kaliniewicz Z, Zuk Z and Kusińska E 2018 Physical properties of seeds of eleven spruce species Forests 9 (10) 617 DOI: 10.20944/preprints201808.0400.v1

12. Kaliniewicz, Z.; Markowski, P.; Anders, A.; Jadwisienczak, B.; Rawa, T.; Szczechowicz, D. Basic physical properties of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) seeds. Tech. Sci. 2016, 19, 103–115

13. Kaliniewicz, Z.; Markowski, P.; Anders, A.; Tylek, P.; Krzysiak, Z.; Fura, S. Influence of the age of parent stand on selected physical properties of Norway spruce seeds. Sylwan 2017, 161, 548–557 DOI: 10.20944/preprints201808.0400.v1

14. Norden, N.; Daws, M.I.; Antoine, C.; Gonzalez, M.A.; Garwood, N.C.; Chave, J. The relationship between seed mass and mean time to germination for 1037 tree species across five tropical forests. Funct. Ecol. 2009, 203–210. [CrossRef]

15. Parker, W.C.; Noland, T.L.; Morneault, A.E. The effects of seed mass on germination, seedling emergence, and early seedling growth of eastern white pine (Pinus strobus L.). New For. 2006, 32, 33–49. [CrossRef]

16. Rawat, B.S.; Uniyal, A.K. Variability in cone and seed characteristics and seed testing in various provenances of Himalayan spruce (Picea smithiana). J. For. Res. 2011, 22, 603–610.

17. Upadhaya, K.; Pandey, H.N.; Law, P.S. The effect of seed mass on germination, seedling survival and growth in Prunus jenkinsii Hook.f. & Thoms. Turk. J. Bot. 2007, 31, 31–36. [CrossRef]

18. Zał ˛eski, A. Nasiennictwo Le´snych Drzew I Krzewów Iglastych (Management of Coniferous Forest Trees and Shrubs for Seed Production); Oficyna Edytorska Wydawnictwo Swiat: Warszawa, Poland, 1995; pp. 117–121. ISBN ´8385597271. (In Polish)

References

1. Increasing the productivity of forest nurseries when growing Scots pine seedlings / A. D. Golev, V. A. Ivannikov, V. N. Bukhtoyarov, and G. G. Goleva // Forest Ecosystems as a Global Resource of the Biosphere: Challenges, Threats, and Solutions in the Context of Climate Change : Proceedings of the International Forest Forum, Voronezh, September 29–30, 2022 / Edited by N. V. Yakovenko. – Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, 2022. – P. 17-23. – DOI 10.58168/IFF2022_17-23. – EDN KRSZWJ.

2. Sviridov LT 2002 Sorting of forest seeds. (Voronezh. Voronezh State Forestry Academy) 298 p.

3. DEVICE FOR FEEDING SEEDS Golev A.D., Goleva G.G., Ivannikov V.A., Bukhtoyarov V.N. Patent for the invention RU 2677302 C1, 16.01.2019. Application No. 2018113041 dated 10.04.2018.

4. DEVICE FOR FEEDING FRACTURED MATERIAL Golev A.D., Goleva G.G., Ivannikov V.A., Bukhtoyarov V.N. Patent for Invention 2725195 C1, 30.06.2020. Application No. 2019144355 dated 24.12.2019.

5. DEVICE FOR FEEDING FRACTURED MATERIAL Golev Alexander Dmitrievich, Goleva Galina Gennadievna, Ivannikov Valeriy Aleksandrovich, Bukhtoyarov Vladimir Nikolaevich Patent for invention 2749367 C1, 09.06.2021. Application No. 2020139655 dated 01.12.2020.

6. DEVICE FOR FEEDING FRACTURED MATERIAL Golev A.D., Goleva G.G., Ivannikov V.A., Bukhtoyarov V.N. Patent for Invention 2743029 C1, 12.02.2021. Application No. 2020126730, dated 10.08.2020.

7. Yurre, N.A. Saving forest seeds and increasing the yield of planting material in nurseries / N.A. Yurre // Lesnoye khozyaistvo.–1953.–No.3.–P.19-22.

8. Yurre, N.A. Sowing with seeds of equal size // Lesnoye khozyaistvo.–1951.–No.3.–p. 31–32.

9. Belcher EW, Leach GN, Gresham HH (1984) Sizing slash pine seeds as a nursery procedure. Tree Planters' Notes 35(2):5-10.

10. Kaliniewicz Z, Markowski P, Anders A, Jadwisieńczak K, Zuk Z, Krzysiak Z 2019 Physical properties of seeds of eleven fir species Forests 10 (2) 142 DOI:10.3390/f10020142

11. Kaliniewicz Z, Zuk Z and Kusińska E 2018 Physical properties of seeds of eleven spruce species Forests 9 (10) 617 DOI: 10.20944/preprints201808.0400.v1

12. Kaliniewicz, Z.; Markowski, P.; Anders, A.; Jadwisienczak, B.; Rawa, T.; Szczechowicz, D. Basic physical properties of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) seeds. Tech. Sci. 2016, 19, 103–115

13. Kaliniewicz, Z.; Markowski, P.; Anders, A.; Tylek, P.; Krzysiak, Z.; Fura, S. Influence of the age of parent stand on selected physical properties of Norway spruce seeds. Sylwan 2017, 161, 548–557 DOI: 10.20944/preprints201808.0400.v1

14. Norden, N.; Daws, M.I.; Antoine, C.; Gonzalez, M.A.; Garwood, N.C.; Chave, J. The relationship between seed mass and mean time to germination for 1037 tree species across five tropical forests. Funct. Ecol. 2009, 203–210. [CrossRef]

15. Parker, W.C.; Noland, T.L.; Morneault, A.E. The effects of seed mass on germination, seedling emergence, and early seedling growth of eastern white pine (Pinus strobus L.). New For. 2006, 32, 33–49. [CrossRef]

16. Rawat, B.S.; Uniyal, A.K. Variability in cone and seed characteristics and seed testing in various provenances of Himalayan spruce (Picea smithiana). J. For. Res. 2011, 22, 603–610.

17. Upadhaya, K.; Pandey, H.N.; Law, P.S. The effect of seed mass on germination, seedling survival and growth in Prunus jenkinsii Hook.f. & Thoms. Turk. J. Bot. 2007, 31, 31–36. [CrossRef]

18. Zał ¸eski, A. Nasiennictwo Le´snych Drzew I Krzewów Iglastych (Management of Coniferous Forest Trees and Shrubs for Seed Production); Oficyna Edytorska Wydawnictwo Swiat: Warszawa, Poland, 1995; pp. 117–121. ISBN ´8385597271. (In Polish)

DOI: 10.58168/Forestry2025_400-407
УДК 630 232.311.9

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ИНТЕНСИВНОЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

Н.А. Демина
к. с.-х. н., старший научный сотрудник
ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
г. Архангельск, Россия

Аннотация.
Целью исследования является проведение анализа текущего состояния лесного семеноводства в Архангельской области и формулировка мероприятий, обеспечивающих развитие лесосеменной базы. Имеющаяся лесосеменная база для полного удовлетворения потребности лесного хозяйства в семенах с улучшенными наследственными свойствами недостаточна. Отмечается важность модернизации объектов лесного семеноводства, которая будет включать в себя увеличение их количества и внедрение в практику научных разработок.

Ключевые слова: лесное семеноводство, лесосеменные объекты, селекция, модернизация, научные разработки

JUSTIFICATION OF THE NEED FOR MEASURES THAT ENSURE INTENSIVE FOREST REGENERATION BASED ON SELECTION AND SEED PRODUCTION (ON THE EXAMPLE OF THE ARKHANGELSK REGION)

N.A. Demina
Candidate of Agriculture Sciences, Senior Research Associate.
Northern Research Institute of Forestry,
Arkhagelsk, Russia

Abstract. The purpose of the study is to analyze the current state of forest seed production in the Arkhangelsk Region and to formulate measures to ensure the development of the forest seed base. The existing seed base is insufficient to fully meet the needs of the forestry sector for seeds with improved hereditary properties. The study highlights the importance of modernizing forest seed production facilities, which will include increasing their number and implementing scientific developments in practice.

Keywords: forest seed production, forest seed facilities, selection, modernization, scientific research

Целью мероприятий, обеспечивающих интенсивное лесовосстановление, является решение вопросов по повышению общей культуры лесовосстановления, созданию и развитию семенной базы, внедрению в практику передовых методов и достижений науки.

Упоминание о важности улучшения качества лесосеменной базы в стратегических документах является основанием для её развития. В соответствии с Государственной политикой в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года [1] с целью сохранения и приумножения лесов необходимо

© Демина Н. А., 2025

обеспечить увеличение доли лесных культур, создаваемых с использованием посадочного материала с улучшенными наследственными и заданными свойствами. В Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года [2] признано, что в нашей стране необходима модернизация лесного семеноводства. В целях устойчивого развития лесовосстановления необходимо применение современных технологий лесовосстановления, увеличение доли искусственного лесовосстановления, увеличение использования семян с улучшенными наследственными свойствами, полученных, в том числе с применением генетических технологий.

Доля селекционно-улучшенных семян, заготовленных на лесосеменных плантациях Архангельской области, составляет 0,3% [3]; в среднем, по Европейскому Северу и всей России – до 3%. Тогда как в европейских странах этот показатель достигает 25%, а в странах Скандинавии – до 90% [4]. Поэтому, с учетом обозначенных проблем в стратегических документах, а также отсутствия сортовых семян и крайне низкого объема селекционно-улучшенных семян, возникает необходимость в модернизации системы селекционного семеноводства основных лесообразующих пород.

В настоящее время происходит накопление объема научных результатов и методов генетических исследований. С учетом того, что потребность в передовых методах и достижениях науки в области селекции и семеноводства возрастает, то их внедрение в практику лесного хозяйства также будет играть важную роль, в том числе для усовершенствования работ в сфере лесной селекции и семеноводства.

Цель исследования – проанализировать текущее состояние лесного семеноводства на территории Архангельской области и сформулировать перечень мероприятий, обеспечивающих развитие лесосеменной базы.

В структуру объектов лесного семеноводства Архангельской области входят постоянные лесосеменные участки, лесосеменные плантации, географические культуры, плюсовые насаждения и плюсовые деревья (таблица 1).

Таблица 1 –Площадь объектов лесного семеноводства в Архангельской области [3]

Наименование объекта лесного семеноводства	Площадь, га
Постоянные лесосеменные участки	253,6
Лесосеменные плантации	18
Плюсовые насаждения	41
Географические культуры	41,2
Плюсовые деревья, шт.	428

В Архангельской области количество объектов лесного семеноводства небольшое. Особенностью данной территории является то, что лесосеменные плантации выше 63º с.ш. создавать не рекомендуется. Отсутствуют на территории Архангельской области архивы клонов плюсовых деревьев и маточные плантации.

Постоянные лесосеменные участки (ПЛСУ) имеют наибольшую площадь среди всех имеющихся объектов (254 га). Максимальное количество ПЛСУ было создано в 1986 году: их насчитывалось 3200 га, в последующие годы наблюдалось постепенное снижение их площадей, которое было обусловлено несвоевременным проведением работ по формированию, зарастанием нежелательной древесной растительностью.

В настоящий момент в Архангельской области числится 18 га лесосеменных плантаций, на конец 2004 года числилось 45,5 га, в том числе аттестованных 8,8 га [5]. Снижение количества лесосеменных плантаций (в том числе и по всей России) объясняется списанием по причинам: поражение патогенными организмами, недостаточность лесоводственных и агротехнических уходов, несоответствие объектов требованиям нормативов.

Плюсовых деревьев в Архангельской области 428 шт., а плюсовых насаждений – 41 га. К концу 80х годов прошлого столетия количество плюсовых деревьев насчитывалось 633 шт.

Основными причинами списания плюсовых деревьев отмечаются: усыхание, ветровалы, пожары. Интенсивность отбора плюсовых деревьев на территории России за последние годы сократилась на 30% [6].

В настоящее время географические культуры в Архангельской области, как объект постоянной лесосеменной базы, представляющий собой разновидность испытательных культур, созданных для испытания потомства экотипов для целей лесосеменного районирования, занимают 41 га (сосна – 8 га, ель – 28 га, лиственница – 5,0 га). Периодические обследования географических культур в Архангельской области говорят об удовлетворительном состоянии объектов. Научная и практическая значимость данных культур остаётся высокой в настоящее время.

Распределение объектов постоянной лесосеменной базы по породному составу на территории Архангельской области представлено на рисунке 1. В основном, объекты (плюсовые деревья, насаждения, постоянные лесосеменные участки) представлены сосной, большую площадь на лесосеменной плантации занимает ель.

Выбор породы для создания объектов лесосеменной базы обусловлен биологическими особенностями древесных пород, лесорастительным условиям Архангельской области и интенсивностью ведения лесного хозяйства в регионе.

Рисунок 1 – Породный состав объектов лесного семеноводства

Анализ состояния постоянной лесосеменной базы Архангельской области показывает, что для полного удовлетворения потребности лесного хозяйства в семенах с улучшенными селекционными качествами, играющими высокую роль в повышении продуктивности лесов, имеющаяся семенная база хвойных пород недостаточна. Количество улучшенных семян, полученных с лесосеменных плантаций крайне мала. Объекты лесного семеноводства не обеспечивают работы по воспроизводству лесов необходимым объемом семян с ценными генетико-селекционными свойствами. Поэтому, имеется необходимость в проведении комплекса мероприятий для развития лесного семеноводства в Архангельской области. Для уточнения результатов и качества выполненных работ по созданию постоянной лесосеменной базы необходимо провести инвентаризацию заложенных в прошлые годы постоянных лесосеменных участков, плюсовых деревьев и насаждений. При выявлении объектов ненадлежащего качества необходимо обеспечить их реконструкцию. Учитывая необходимость в увеличении объемов заготовки семян лесных растений с улучшенными наследственными свойствами и в целях устойчивого развития лесного семеноводства необходимо создание новых объектов.

Для обеспечения возможности воспроизводства генетического потенциала, а также более равномерного распределения плюсовых насаждений по региону необходимы дополнительный подбор и закладка плюсовых деревьев и насаждений. Ранее, в Европейской

части России, в том числе на территории Архангельской области был начат первый цикл плюсовой селекции, который так и не был завершен. Одним из подходов по определению количества плюсовых деревьев может стать ориентир на наиболее развитую область в ведении лесного семеноводства. Среди областей Северо-Запада, имеющих наиболее схожие природно-климатические условия, размер и вытянутость в субмеридиональном направлении, лучшей можно считать Республику Карелия. К настоящему времени в Карелии создана одна из самых мощных лесосеменных баз России [7]. С целью достижения показателей Архангельской области, близких к показателям Республики Карелия, необходимо иметь на ее территории 3424 шт. плюсовых дерева, что требует дополнительного отбора к уже существующим деревьям 2996 шт. Необходимый объем плюсовых деревьев установлен на основе показателя число плюсовых деревьев на 1000 га покрытой лесом площади для Республики Карелия [8]. Еще одним подходом по планированию объемов плюсовых деревьев можно считать принцип, установленный специалистами «Союзгипролесхоза» на основе изучения большого практического опыта селекционной инвентаризации насаждений и отбора плюсовых деревьев. Рекомендовано, что в лучших насаждениях многих регионов на 1000 га следует отбирать до 7 кандидатов в плюсовые деревья [9]. Следовательно, в Архангельской области для покрытой лесом площади 21695,0 тыс. га необходимо иметь 151865 плюсовых деревьев, что в настоящее время трудно исполнимо.

Ввиду отсутствия в Архангельской области испытательных культур, генетическая оценка потомства плюсовых деревьев сосны и ели невозможна. Поэтому необходима закладка данных объектов. Для определения необходимой площади испытательных культур плюсовых деревьев имеются придержки: на каждое отобранное плюсовое дерево необходимо задействовать около 0,5 га испытательных культур [10]. В соответствии с данными рекомендациями, по нашим расчетам, на территории Архангельской области необходимо иметь 214 га испытательных культур.

Значительное снижение количества постоянных лесосеменных участков в последние десятилетия диктует необходимость в восстановлении их количества. При установлении необходимой площади ПЛСУ исходят из текущей потребности в семенах. Необходимый объем заготовки семян делят на средний урожай 1 га плодоносящего участка [11]. В настоящее время за весь срок действующего Лесного плана [3] планируется создать 10 га ПЛСУ. Потребность в семенах в Архангельской области составляет 600 кг в год. При создании 10 га при среднем урожае 3 кг/га с ПЛСУ можно получить до 30 кг семян, а с учетом уже существующих лесосеменных участков (254 га) с максимальной эффективностью их продуцирования, можно получить 792 кг, что покроет потребность в семенах Архангельскую область. Но, следует учесть, что в данных природных условиях, характеризующихся слабым и редким семеношением, урожай семян может быть меньших объемов на протяжении нескольких лет. Также следует учесть необходимость в потребности семян для формирования страхового фонда. Поэтому постепенное увеличение площадей ПЛСУ является необходимым мероприятием. На период действия следующего Лесного плана рекомендуется повысить объем создания ПЛСУ до 5 га, а далее до 15 га ежегодно, что позволит выйти на плановые показатели начального этапа развития лесосеменного дела (с 1980-х годов прошлого столетия), но не ранее чем через 20 лет.

Одной из важных задач должна стать закладка лесосеменных плантаций I порядка по сосне и ели. В Архангельской области лесосеменные плантации представлены 15 га ели (2014, 2015, 2016 года закладки) и 3 га сосны (2000 год закладки). В 2022 году плантация сосны имела балл плодоношения 1,8 [12], а в июле 2024 года – 2,7 балла, что соответствует средней урожайности [13]. Первое единичное семеношение у растений-клонов на данной ЛСП отмечено в возрасте 4-5 лет. В 2019 году объем семян сосны, полученных с ЛСП, составил 2,7 кг/га [14], а в 2024 году – 1 кг/га [15]. В среднем, урожай семян сосны ежегодно можно считать 1,9 кг/га. На плантации ель в полную силу вступит в плодоношение ближе к 2030 году (в 2023 году наблюдалось начало плодоношения, редкое), поэтому при продуцировании 18 га плантаций можно будет получать до 34,2 кг ежегодно. Следовательно, при неизменных

объемах, планируемых к получению семян в области (600 кг ежегодно), и благоприятных погодных условий, процент семян с улучшенными наследственными свойствами достигнет 5,7%. С учетом того, что на территории Архангельской области на период действующего Лесного плана планируется создать 20 га лесосеменных плантаций, то урожай можно будет получить примерно к 2045 году. Тогда объем семян с улучшенными наследственными свойствами может достигнуть 72 кг ежегодно, что составит долю таких семян уже 12%. В соответствии с проведенными расчетами, в ближайшей перспективе наблюдается тенденция к увеличению доли семян с улучшенными наследственными свойствами. Переход к созданию лесосеменных плантаций I,5 порядка на данный момент невозможен по причине недостаточного количества отобранных плюсовых деревьев и отсутствия испытательных культур.

В соответствии с вышесказанным, возникла необходимость в разработке долгосрочных программ федерального значения с подпрограммами по созданию и сохранению объектов лесного семеноводства, так как это было организовано в 1970–1980-е гг., где были подготовлены: Генеральная схема лесного семеноводства [16], издан Приказ от 01.07.86 №166 О дальнейшем укреплении постоянной лесосеменной базы на селекционной основе, разработаны региональные программы для отдельных субъектов РФ, Основные положения по лесному семеноводству СССР и Российской Федерации [17, 18], принята Программа по изучению имеющихся и закладке новых географических культур основных лесообразующих пород [19], разработано Лесосеменное районирование [20] и т.д. Такой набор программ и нормативных документов являлся основной движущей силой в становлении и развитии лесного селекционного семеноводства по всей России.

Необходимо активизировать работы по закладке постоянных лесосеменных объектов на Европейском Севере с использованием научных разработок и рекомендаций, разработанных региональными отраслевыми институтами и другими научными учреждениями. Так, например в Архангельском институте леса и лесохимии (ныне ФБУ СевНИИЛХ) разработаны способы отбора селекционно-ценных форм сосны обыкновенной по признаку трёххвойности, ели – по степени выраженности мутовчатости и определено их селекционное значение. Разработаны методы ранней диагностики наследственных свойств плюсовых деревьев и форм сосны и ели; способы создания постоянной лесосеменной базы хвойных пород на селекционной основе [21, 22]. Проведена большая работа по изучению опытных объектов (плюсовые насаждения, постоянные лесосеменные участки, плантации) и получена доказательная база по данному направлению. Кроме того, установлены технологическая возможность и коммерческая привлекательность создания селекционно-семеноводческих объектов на основе использования косвенных признаков в современных условиях [23]. Также необходимо уделить внимание решению важных задач в использовании молекулярных маркеров в лесной селекции и семеноводстве: разработке единых методик и проведению работ по генетической паспортизации плюсовых деревьев и других объектов лесного семеноводства.

В настоящее время географические культуры сосны и ели, созданные на территории Архангельской области, достигли 50-летнего возраста. В соответствии с методикой и программой изучения данных объектов, периодичность их изучения составляет не более чем 10 лет. Последняя инвентаризация на Европейском Севере (Архангельская, Мурманская, Вологодская области, Республика Коми) проводилась в 2009-2011 годах, последующий этап обследования географических культур пропущен. Следовательно, требуется возобновить наблюдения за ценными в научном отношении объектами. В современных условиях вполне может развиваться направление по актуализации действующего лесосеменного районирования основных лесообразующих видов с учётом их популяционно-генетической структуры.

Одной из первоочередных задач должно быть проведение уходов на созданных объектах лесного семеноводства, заключающихся в удалении нежелательной древесной и кустарниковой растительности, в формировании крон и т.д. Ранее заложенные объекты без

регулярных агротехнических и лесоводственных уходов теряют свое назначение и приходят в негодность. С учетом увеличения площадей лесосеменных объектов в ближайшей перспективе следует оценить необходимость в приобретении и модернизации технических средств для создания, проведения уходов за объектами, сбора и обработки семенного сырья. К примеру, более эффективное использование лесосеменных плантаций сдерживается отсутствием или недостаточным количеством подъемно-транспортных механизмов, дороговизной их эксплуатации.

Важным вопросом является необходимость в профессиональной подготовке высококвалифицированных специалистов в области современной селекции и семеноводства, а также укрепление кадрового состава в научных учреждениях. Специалисты должны обладать глубокими знаниями теоретического и практического характера.

Все изложенное выше указывает на необходимость проведения работ, направленных на улучшение качественных показателей и расширение площади объектов лесосеменной базы, а также на необходимость более широкого внедрения современных и эффективных технологий, в том числе с использованием молекулярно-генетических методов.

Работа проведена по результатам исследований, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований. Регистрационный номер темы: 122020300231-2.

Список литературы

1. Государственная политика в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 26.09.2013 № 1724-р. URL: http://government.ru/docs/all/88751/. Дата обращения 01.08.2025

2. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации 11.02.2021 № 312-р. URL: http://static.government.ru/media/files/pFdqtWFH8y9SfQjDE0Xnwd8eXWoJJMYB.pdf. Дата обращения 01.08.2025

3. Лесной план Архангельской области 2019-2028 гг. Указ Губернатора АО от 116-у от 14.12.2018) (в ред. указа Губернатора Архангельской области от 11.05.2023 N 39-у). URL: https://disk.yandex.ru/i/E8ts8uydjbwMdQ. Дата обращения 31.07.2025

4. Ефимов Ю.П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной. – Воронеж: Изд-во «Истоки», 2010. – 253 с.

5. Лесной план Архангельской области. Утвержден постановлением главы администрации Архангельской области от 29 декабря 2008 г. №101.

6. Царев А.П., Лаур Н.В., Царев В.А., Царева Р.П. Современное состояние лесной селекции в Российской Федерации: тренд послед них десятилетий // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2021. – № 6. – С. 38–55. DOI: 37482/0536-1036-2021-6-38-55.

7. Лаур Н.В. Лесной генетико-селекционный комплекс Карелии (особенности создания, анализ состояния, научное обоснование развития). Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора сельскохозяйственных наук. 06.03.01 - лесные культуры, селекция и семеноводство. – Москва, 2012. – 38 с.

8. Раевский Б. В. Селекционное семеноводство и его роль в интенсификации лесного хозяйства таежной зоны России (на примере Карелии) // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 22–23 мая 2018 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2018. – С. 144-145. – EDN YCFKIX.

9. Опыт создания и проектирования лесосеменной базы. Обзорн. информ. Нестеркин С.Н. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1986. вып. 3 – 48 с.

10. Тараканов В.В., Демиденко В.П., Ишутин Я.Н. и др. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. – Новосибирск: Наука, 2001. – 230 с.

11. Коновалов Н.А., Пугач Е.А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства. – М., 1978. – 176 с.

12. Обследован объект лесного семеноводства // Газета Лесной регион. – Сентябрь 2022. URL: https://lesregion.ru/main/5401-obsledovan-obekt-lesnogo-semenovodstva.html. Дата обращения 31.07.2025

13. Сотрудники Архангельской лесосеменной станции подвели итоги работы за 2024 год. URL: https://archangelsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/sotrudniki-arkhangelskoy-lesosemennoy-stantsii-podveli-itogi-raboty-za-2024-god/. Дата обращения 31.07.2025

14. Первые итоги по заготовке лесосеменного сырья в 2019 году подвели в Минприроды региона. URL: https://dvinaland.ru/news/628266. Дата обращения 04.08.2025

15. В Вельском лесничестве Архангельской области обследован объект лесного семеноводства. URL: https://archangelsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/v-velskom-lesnichestve-arkhangelskoy-oblasti-obsledovan-obekt-lesnogo-semenovodstva/. Дата обращения 04.08.2025

16. Яркин В.П. Койков И.Г., Родионов А.П. Основные положения генеральной схемы развития лесного семеноводства основных лесообразующих пород в СССР на селекционной основе. – М.: Союзгипролесхоз, 1980. – 90 с.

17. Основные положения по лесному семеноводству в СССР. – Москва, 1976. – 31 с.

18. Основные положения по лесному семеноводству в Российской Федерации. – Москва: ВНИИЦлесресурс, 1994. – 24 с.

19. Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / Гос. ком. лесного хоз-ва Совета Министров СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т лесоводства и механизации лесного хоз-ва. – Пушкино, 1972. – 52 с.

20. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. – Москва: Лесная промышленность, 1982. – 368 с.

21. Демина Н.А., Файзулин Д.Х., Михайлов К.Л. Анализ исследований по выявлению ценных селективных признаков деревьев при создании объектов лесосеменной базы // Актуальные проблемы лесного комплекса / Под общей редакцией Е.А. Памфилова. Сборник научных трудов. – Выпуск 67. – Брянск: БГИТУ, 2025. – С. 127-132.

22. Архангельский институт леса и лесохимии (АИЛиЛХ) / Отв. Г.Н. Дядицын. – Москва, 1990. – 19 с.

23. Демина Н.А., Михайлов К.Л., Файзулин Д.Х. Адаптация технологии создания плантации сосны семенного происхождения на селекционной основе к современным задачам лесовосстановления // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – Выпуск 1 (41). – 2024. – С. 30-34. – EDN RJUQJG.

References

1. State policy in the field of use, protection, and reproduction of forests in the Russian Federation for the period up to 2030. Approved by Order of the Government of the Russian Federation No. 1724-r dated 26.09.2013. URL: http://government.ru/docs/all/88751/ Accessed on 01.08.2025

2. Strategy for the Development of the Russian Federation's Forestry Sector until 2030. Approved by Order of the Government of the Russian Federation No. 312-r dated 11.02.2021. URL: http://static.government.ru/media/files/pFdqtWFH8y9SfQjDE0Xnwd8eXWoJJMYB.pdf Accessed on 01.08.2025

3. Forest Plan of the Arkhangelsk Region for 2019-2028 Decree of the Governor of JSC No. 116-u dated 12/14/2018) (as amended Decree of the Governor of the Arkhangelsk region dated 05/11/2023 N 39-u). URL: https://disk.yandex.ru/i/E8ts8uydjbwMdQ Accessed on 07.31.2025

4. Efimov Yu.P. Seed Plantations in the Selection and Seed Production of Scots Pine. – Voronezh: Istoriki Publishing House, 2010. – 253 p.

5. Forest plan of the Arkhangelsk region. Approved by the Decree of the Head of the Administration of the Arkhangelsk Region dated December 29, 2008, No. 101.

6. Tsarev A.P., Laur N.V., Tsarev V.A., Tsareva R.P. The Current State of Forest Breeding in the Russian Federation: The Trend of the Last Decades // Izvestiya Vuzov. Lesn. zhurn. – 2021. – No. 6. – Pp. 38–55. DOI: 37482/0536-1036-2021-6-38-55.

7. Laur N.V. Forest Genetic and Breeding Complex of Karelia (Features of Creation, Analysis of the State, Scientific Justification of Development). Abstract of the Dissertation for the Degree of Doctor of Agricultural Sciences. 06.03.01 - forest crops, breeding and seed production. – Moscow, 2012. – 38 p.

8. Raevsky B. V. Breeding seed production and its role in the intensification of forestry in the taiga zone of Russia (on the example of Karelia) // Increasing the efficiency of the forestry complex: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Petrozavodsk, May 22–23, 2018. – Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2018. – P. 144-145. – EDN YCFKIX.

9. Experience in the creation and design of a forest seed base. Overview. information. Nesterkin S.N. – M.: TsBNTI of the USSR State Forestry Administration, 1986. issue 3 – 48 p.

10. Tarakanov V.V., Demidenko V.P., Ishutin Ya.N. et al. Selection of common pine seed production in Siberia. – Novosibirsk: Nauka, 2001. – 230 p.

11. Konovalov N.A., Pugach E.A. Fundamentals of Forest Selection and Varietal Seed Production. – Moscow, 1978. – 176 p.

12. The object of forest seed production was inspected // Lesnoy Region newspaper. – September 2022. URL: https://lesregion.ru/main/5401-obsledovan-obekt-lesnogo-semenovodstva.html. Accessed on 31.07.2025

13. Employees of the Arkhangelsk Forest Seed Station summed up the results of their work for 2024. URL: https://archangelsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/sotrudniki-arkhangelskoy-lesosemennoy-stantsii-podveli-itogi-raboty-za-2024-god/. Accessed on 31.07.2025

14. The first results on harvesting of forest seed raw materials in 2019 were summed up by the Ministry of Natural Resources of the region. URL: https://dvinaland.ru/news/628266. Accessed on 04.08.2025

15. A forest seed production facility was surveyed in the Velsky forestry department of the Arkhangelsk region. URL: https://archangelsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/v-velskom-lesnichestve-arkhangelskoy-oblasti-obsledovan-obekt-lesnogo-semenovodstva/. Accessed on 04.08.2025

16. Yarkin V.P.. Koikov I.G., Rodionov A.P. The Main Provisions of the General Scheme for the Development of Forest Seed Production of the Main Forest-Forming Species in the USSR on a Breeding Basis. – Moscow: Soyuzgiproleskhoz, 1980. – 90 p.

17. The Main Provisions on Forest Seed Production in the USSR. – Moscow, 1976. – 31 p.

18. The Main Provisions on Forest Seed Production in the Russian Federation. – Moscow: Vniitslesresurs, 1994. – 24 p.

19. Study of existing and creation of new geographical cultures: Program and methodology of work / State Committee of Forestry of the Council of Ministers of the USSR. The All-Union. scientific research. Institute of Forestry and Mechanization of forestry. – Pushkino, 1972. – 52 p.

20. Forest-seed zoning of the main forest-forming species in the USSR. Moscow: Forest Industry Publ., 1982. 368 p.

21. Demina N.A., Faizulin D.Kh., Mikhailov K.L. Analysis of research on identifying valuable selective features of trees when creating forest seed base facilities // Actual problems of the forest complex / Edited by E.A. Pamfilov. Collection of scientific papers. – Issue 67. – Bryansk: BGITU, 2025. – Pp. 127-132.

22. Arkhangelsk Institute of Forest and Forest Chemistry (AILiLF) / Ed. by G.N. Dyaditsyn. – Moscow, 1990. – 19 p.

23. Demina N.A., Mikhailov K.L., Faizulin D.Kh. Adaptation of the technology of creating a pine plantation of seed origin on a breeding basis to modern tasks of reforestation // Innovations in the AIC: Problems and Prospects. – Issue 1 (41). – 2024. – Pp. 30-34. – EDN RJUQJG.

DOI: 10.58168/Forestry2025_408-414
УДК 630 232:631.53

ОЦЕНКА РОСТА И РАЗВИТИЯ САЖЕНЦЕВ ГИБРИДА ТОПОЛЯ БЕЛОГО НА ОСИНУ С ЗКС, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ IN VITRO

П.М. Евлаков[1], А.Н. Цепляев[2], А.А. Камаева[3], В.Т. Попова[4]

[1]кандидат биологических наук, зав. лабораторией анализа ПЦР, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

[2]профессор кафедры ботаники и дендрологии, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

[3]аспирант кафедры ботаники и дендрологии, инженер-лаборант лаборатории анализа полимеразной цепной реакции, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

[4]кандидат биологических наук, зав. кафедрой Ботаники и дендрологии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

Аннотация. Качественный посадочный материал — основа лесокультурного производства. В связи с этим возникает необходимость в совершенствовании технологий выращивания, направленных на повышение приживаемости, продуктивности и устойчивости лесных насаждений. Производство посадочного материала с ЗКС в контейнерах из различных материалов является высокоэффективным и перспективным направлением современного питомниководства, которое способно повысить приживаемость растений при посадке до 100%. Цель исследования - установление закономерностей разработки технологии выращивания в теплицах посадочного материала с ЗКС на основе клонального микроразмножения in vitro. В результате статистической обработки данных замеров было установлено, что выращивание in vitro гибрида тополя белого на осину в кассетах без последующей пересадки показало наименьшую продуктивность. Пересадка из кассет в контейнеры большего объема значительно улучшает показатели роста. Так же наилучшие результаты достигнуты при доращивании на площадке закаливания: высота растений превышала показатели тепличного варианта на 25,1%. Таким образом, увеличение объема корнеобитаемой зоны и доращивание в открытом грунте являются ключевыми факторами повышения продуктивности посадочного материала.

Ключевые слова: гибрид тополь белый х осину, клональное микроразмножение, in vitro, теплица, закрытая корневая система, кассеты, контейнеры, стебель, лист, корень.

ASSESSMENT OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF WHITE POPLAR × ASPEN HYBRID SEEDLINGS UNDER THE ROOT-BALLED SYSTEM, OBTAINED BY THE METHOD OF CLONAL MICROPROPAGATION IN VITRO

P.M. Evlakov[1], A.N. Tseplyayev[2], A.A. Kamaeva[3], V.T. Popova[4]

[1] Candidate of Biological Sciences, head of the PCR Analysis Laboratory,
[2] Professor of the Department of Botany and Dendrology, Doctor of Agricultural Sciences,

© Евлаков П. М., Цепляев А. Н., Камаева А. А., Попова В. Т., 2025

[3] Postgraduate student of the Department of the Department of Botany and Dendrology, Engineer-Laboratory Assistant of the Polymerase Chain Reaction Analysis Laboratory,
[4] Candidate of Biological Sciences, head of the the Department of Botany and Dendrology
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. High-quality planting stock is the foundation of forest plantation production. In this regard, there is a need to improve cultivation technologies aimed at increasing the survival rate, productivity, and resilience of forest stands. The production of containerized planting stock (with a closed root system) in containers made of various materials is a highly effective and promising direction in modern nursery practice, capable of increasing plant survival upon outplanting to up to 100%. The research aim is to identify the patterns for developing a technology for growing containerized planting stock in greenhouses based on clonal micropropagation in vitro. As a result of statistical processing of measurement data, it was found that the in vitro cultivation of the white poplar hybrid on aspen rootstock in cassettes without subsequent transplanting showed the lowest productivity. Transplanting from plug trays into larger pots significantly improved growth performance. The best results were also achieved through hardening off in an open-ground area: plant height exceeded the greenhouse variant by 25.1%. Thus, increasing the volume of the root zone and growing on in open ground are key factors for enhancing the productivity of planting stock.

Keywords: white poplar × aspen hybrid, clonal micropropagation, in vitro, greenhouse, root-balled system, plug trays, pots, stem, leaf, root.

Введение.

Одним из самых доступных и эффективных средств борьбы с изменением климата в общепланетарном масштабе является лесовосстановление и лесоразведение. Лесные массивы поглощают до 2 млрд тонн диоксида углерода в год. Реализация всего связанного с лесами комплекса мер по борьбе с изменением климата, позволит удержать глобальное потепление в пределах двух градусов по Цельсию [7]. За счет использования древесины снижается потребление ископаемого топлива, поскольку на ее долю приходится до 40 процентов возобновляемой энергии [8,9].

За последние 60 лет площадь лесных массивов в мире уменьшилась на 81,7 млн. га, что привело к сокращению общей площади лесов на душу населения более чем на 60 %. Площадь лесов сократилась за 60 лет почти в три раза Площадь леса на одного жителя Земли уменьшилась с 1,4 га в 1960 году до 0,5 га в 2019 году [6].

Вопросы разработки и применения технологий выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой для создания углерододепонирующих насаждений приобретают все большую актуальность ввиду глобальных климатических изменений. Современные высокотехнологичные способы производства сеянцев и саженцев с закрытой корневой системой позволяют повысить приживаемость растений и ускорить процессы их использования. В таких традиционно лесных странах, как Канада, Швеция, Финляндия, Норвегия посадка лесных культур более, чем на 90 % ведется сеянцами с закрытой коневой системой (ЗКС) [2].

Качественный посадочный материал является основой процессов его использования в дальнейшем лесокультурном производстве. В решении проблемы выращивания посадочного материала важнейшее место отводится усовершенствованию методов, способов и технологий выращивания сеянцев и саженцев древесных пород. В данной связи особый интерес представляют новые технологии выращивания, обеспечивающие интенсивный рост и хорошую приживаемость в сравнении с традиционными агроприемами, продуктивности и устойчивости будущих лесных насаждений.

Мировая практика лесоводства показывает, что обеспечение интенсивного восстановления лесов и лесоразведения на основе создания технологий получения высококачественного посадочного материала древесных пород, устойчивых к неблагоприятным факторам окружающей среды, является актуальной задачей. Развитие плантационного лесоводства в России вызывает необходимость повышения общего уровня воспроизводства лесных ресурсов, которое в настоящий момент характеризуется сравнительно низкой продуктивностью естественных насаждений и производственных лесных культур, значительным истощением лесосырьевых баз, наличием незанятых высокопроизводительных по почвенно-климатическим условиям территорий, где биологический потенциал хозяйственно-ценных лесных пород может быть реализован в полной мере.

В данной связи на передний план выходит проблема подбора ассортимента, лесных древесных пород с улучшенными наследственными качествами, обладающими высокими темпами роста, накопления биомассы и потенциалом секвестрации углерода, обоснованного с научно-практической точки зрения. При планировании и реализации лесохозяйственных мероприятий по лесовосстановлению и лесоразведению важнейшая роль отводится биотехнологии, использующей в своем арсенале новейшие методы молекулярной биологии, биохимии, генной и клеточной инженерии. Максимально широкое применение в биотехнологии, нашли методы клонального микроразмножения растений, которые позволяют ускоренно внедрять селекционные достижения путем быстрого производства высококачественного посадочного материала.

Цель исследования. Выявление общих закономерностей при разработке технологии выращивания посадочного материала с ЗКС, полученного методом клонального микроразмножения *in vitro* в условиях теплицы.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования являлись гибрид тополя белого х осина *(Populus alba L. x Populus tremula L.)*, размноженные в условиях *in vitro* в лаборатории анализа ПЦР НИИ «Инновационных технологий и лесного комплекса» ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Микрорастения гибрида тополя белого на осину, полученные в культуре *in vitro*, были высажены в пластиковые кассеты с различным объёмом и густотой: Hiko V-120, Hiko V-150, Hiko V-265 (ВСС, Швеция) и контейнеры Р9 (Россия) и выращивались в теплице. На втором этапе из кассет и Р9 часть растений пересадили в контейнеры 2 л. Далее эти переконтейнерованные саженцы разделили на две партии и одну оставили в теплице, а другую перенесли на площадку закаливания, партию, оставленную в кассетах, доращивали в условиях теплицы.

Биометрические измерения посадочного материала включали в себя: определение высоты, диаметра, сухой массы стебля и корня, количества листьев, длины корней.

У растений, выращиваемых в контейнерах линейкой измерялись: высота от начала прироста [1], диаметр стволика измерялся штангенциркулем у основания прироста. Сырая и сухая масса листьев, побегов и корней определялась путем взвешивания на электронных лабораторных электронных весах Ohaus (США). Сухая масса листьев, побегов и корней определялась после сушки в сушильном шкафу Binder (Германия) до абсолютно сухого состояния.

Для определения биологической продуктивности растений, выращиваемых в контейнерах различного объема и интенсивности основных физиологических процессов определялись такие важные показатели как площадь листа и удельная поверхностная плотность листьев (УПП), которая является важным интегральным показателем мезоструктуры листа. Чем больше величина УПП, тем эффективнее идут процессы фотосинтеза, так как в расчете на единицу поверхности листа синтезируется большая биомасса [5].

Было проведено изучение строения корневых систем и определение массы корней у контейнеризированных саженцев. В данной связи нами изучались особенности развития и строение корневой системы при выращивании посадочного материала в ячейках кассет и

контейнерах различного объема. Разработаны рекомендации по оптимизации условий для роста корней в условиях кассет и посадочных контейнеров.

Определение массы сырых и сухих корней проводилось взвешиванием с точностью до 0,01 г. Определение длины корней проводили согласно методики Н.А. Качинского [3] и В. А. Колесникова [4].

Статистическая обработка результатов замеров побегов проводилась с использованием специальных программ: Excel 2015, Statistica 10.0, Stadia 8.2 с установлением средней величины, ошибки, точности и достоверности опыта.

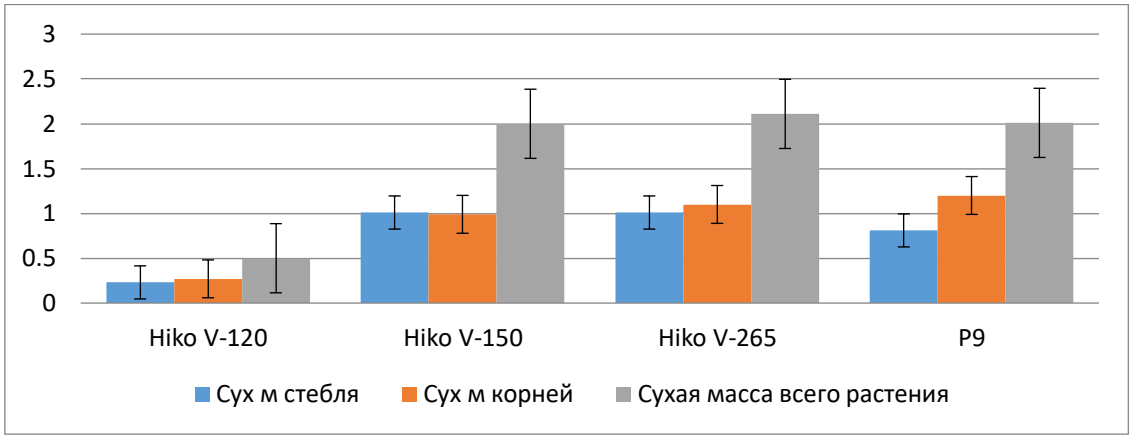
Результаты и обсуждение.

Данные наблюдений за ростом и развитием саженцев гибрида Т. белого х осина *ex vitro* в лабораторных условиях в период активного роста и статистическая обработка данных биометрических показателей представлены в таблице 1.

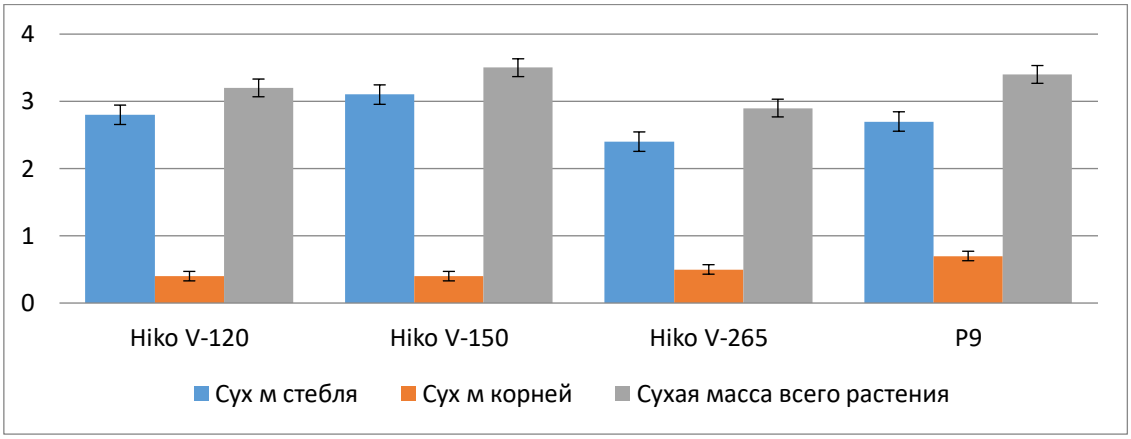
Таблица 1 - Биометрические показатели контейнеризированных саженцев гибрида тополь белый х осина

Варианты опытов	Высота, см		Диаметр корневой шейки, мм		Количество листьев, шт		Сухой вес надземной части, г		Сухой вес корней, г	
	$M \pm m_м$	Cv,%	$M \pm m_м$	Cv, %	$M \pm m_м$	Cv, %	$M \pm m_м$	Cv, %	$M \pm m_м$	Cv, %
гибрид тополь белый х осина (не пересаженные в 2 литра, в теплице)										
Hiko V-120	14,1±1,4	32	1,6±0,1	226	8,3±0,7	231	0,2±0,04	563	0,06±0,01	643
Hiko V-150	23,4±1,4	220	2,7±0,1	119	12,4±0,5	116	1,2±0,13	345	0,18±0,03	562
Hiko V-265	28,2±1,0	112	3,3±0,08	77	11,7±0,4	111	1,04±0,06	119	0,34±0,03	227
Контейнер Р9	28,6±1,0	330	3,2±0,2	222	12,9±0,6	114	1,2±0,23	660	0,36±0,07	553
гибрид тополь белый х осина (пересаженные в 2 литра, в теплице)										
Hiko V-120	37,4±1,9	116	2,4±0,03	220	15,6±0,9	118	2,08±0,3	445	0,4±0,07	557
Hiko V-150	34,1±1,9	117	3,8±0,17	114	15,8±0,8	116	3,1±0,3	338	0,4±0,05	442
Hiko V-265	42,0±2,7	220	3,8±0,27	222	18±0,8	114	2,4±0,37	440	0,5±0,1	660
Контейнер Р9	40,1±1,9	116	4,6±0,23	120	18±0,7	118	2,7±0,28	336	0,7±0,09	358
гибрид тополь белый х осина пересаженные в 2 литра, на площадке закаливания										
Hiko V-120	46,8±2,5	117	5,5±0,22	113	18,6±1,1	118	4,2±0,4	330	1,1±0,1	229
Hiko V-150	37,2±2,1	118	4,8±0,18	112	17,6±0,9	116	2,6±0,3	337	0,6±0,08	443
Hiko V-265	43,8±2,4	117	5,2±0,3	220	18,3±0,6	110	3,2±0,4	441	1,2±0,18	449
Контейнер Р9	54,4±1,8	110	5,6±0,2	111	20,7±0,9	115	4,5±0,4	226	1,3±0,15	336

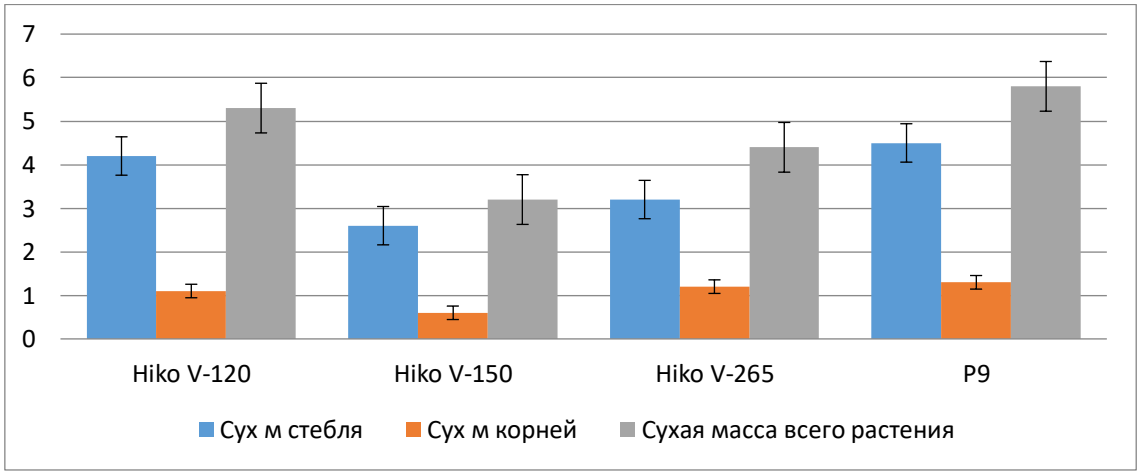
Сравнение средних значений основных биометрических параметров саженцев гибрида тополь белый х осина показывает, что на этапе активного роста высота растений увеличивается с возрастанием объема корнезакрывающего кома.



а



б



в

Рисунок 1 Соотношение сухой надземной массы и сухой массы корней относительно сухой массы всего растения гибрида Т. белый х осина (07.07.2024 г).
а- кассеты без пересадки; б – пересаженные в 2 л и доращиваемые в теплице; в – пересаженные в 2 л и доращиваемые на площадке закаливания.

После пересадки интенсивность роста увеличивается в 2,7 раза для самого низкопродуктивного варианта Hiko V-120. Для остальных вариантов опыта (Hiko V-150, Hiko V-256, P9), выращиваемых далее в теплице - в 1,43 - 1,48 раза. Растения, пересаженные

в двухлитровые контейнеры и перенесенные на площадку закаливания, продемонстрировали еще большую интенсивность роста.

Растения в варианте Hiko V-120 пересаженные в контейнер 2 л опережал аналогичный без пересадки в 3,3 раза, а остальные варианты опыта доминировали над аналогичными без пересадки на 1,6 -1,9 раза. Прирост по диаметру продемонстрировал схожую тенденцию.

Расчет силы влияния варианта используемой технологии (параметр «технология») на высоту при сравнении всех трех вариантов доращивания показал, что пересадка в большие контейнеры оказывает влияние: для Hiko V-120 = 85 % ($\eta 2$=0,85); Hiko V-150 = 58 % ($\eta 2$=0,58); Hiko V-265 = 54 % ($\eta 2$=0,54); P9= 73 % ($\eta 2$=0,73).

При этом сравнение средних показателей высоты у вариантов, пересаженных в двухлитровые контейнеры, но выращиваемые в теплице и на площадке закаливания показало незначительное влияние фактора «Условия доращивания теплица-открытая площадка» для Hiko V-120 = 33 % (η^2=0,33); Hiko V-150 = 6 % (η^2=0,06); Hiko V-265 = 1 % (η^2=0,01); P9= 63 % (η^2=0,63). Как показывает сравнительный анализ, высокопродуктивные варианты Hiko V-150 и Hiko V-265 после пересадки практически не отличаются по интенсивности прироста в высоту.

Заключение

Таким образом, использование кассет Hiko V-120 при выращивании посадочного материала гибрида Т. белый х осина полученного методом in vitro без пересадки в большие контейнеры в теплице демонстрирует самую низкую продуктивность на данном этапе онтогенеза. Пересадка в контейнер с большим объемом корнезакрывающего кома устраняет данную проблему и стимулирует рост по высоте и диаметру, а также увеличение сухой массы растения. Следует отметить, что выращивание на площадке закаливания позволяет на данном этапе повысить высоту растений на 25,1 % по сравнению с аналогичными растениями, пересаженными и доращиваемыми в теплице. Высота саженцев на открытой площадке в двухлитровых контейнерах в 3,3 раза превышает данный показатель у саженцев в кассетах, оставленных в теплице, а диаметр в 3,4 раза.

Тенденция отставания в росте у растений в варианте Hiko V-150 от других в опыте на данном этапе сохраняется, однако пересадка и увеличение корнеобитаемой зоны дает превышение по высоте в этом случае в 1,45 раза при выращивании в теплице, и в 1,6 раз на открытой площадке. Средние значения диаметра пересаженных растений так же превышают аналогичные показатели у саженцев, оставленных в кассетах для доращиваемых в теплице в 1,4 раза, а доращиваемых на площадке закаливания в 1,6 раза.

У саженцев гибрида Т. белого х осина пересаженных в двухлитровые контейнеры и доращиваемые на площадке закаливания высота превышает растения в кассетах и P9 оставленных в теплице в 1,55 раза, а диаметр в 1,57 раза. Аналогичные показатели у растений, доращиваемых в двухлитровых контейнерах в теплице – высота превышает в 1,5 раза, диаметр в 1,2 раза.

Хорошая динамика отмечена при пересадке растений из P9 в двухлитровый контейнер и доращивания на площадке закаливания. Высота в указанном варианте в 1,9 раза, а диаметр в 1,8 раза больше чем у саженцев, оставленных в теплице в кассетах. У растений, пересаженных и доращиваемых в теплице высота в 1,4 раза и диаметр в 1,4 раза также превышали средние значения.

Список литературы

1. Жигунов, А. В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / А. В. Жигунов. – Санкт-Петербург: СПбНИИЛХ, 2000. – 293 с.

2. Жигунов, А. В. Производство посадочного материала в лесных питомниках Северо-Запада России: практические рекомендации / А. В. Жигунов, И. А. Маркова. – Санкт-Петербург : СПбНИИЛХ, 2005. – 120 с.

3. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 192 с.

4. Колесников В.А. Методы изучения корневой системы древесных растений. — 2-е изд., испр. и доп.. — Москва : Лесная пром-сть, 1972. — 152 с. ил.; 21.

5. Evlakov P.M., Tsarev A.P., Tsareva R.P., Rzhevsky S.G., Zapletin V. // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 226 012018.

6. FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Rome. https://doi.org/10.4060/ca8753en]

7. Fossati T., Development of molecular markers to assess the level of introgression of Populus tremula into P. alba natural populations / T. Fossati, G. Patrignani, I. Zapelli, M. Sabatti, F. Sala, Castiglione S. // Plant Breed. 2004. V. 123. P. 382–385.

8. Hannay J., New study finds global forest area per capita has decreased by over 60 %. URL: https://www.https://ioppublishing.org/news/new-study-finds-global-forest-area-per-capita-has-decreased-by-over-60/.

9. Singh, A. Poplars and willows for increasing the livelihood and rural development: A review / A. Singh, A. Kumar. – in Report on International Poplar Commission 24th Session, Dehradun, Poplars and willows: trees for society and the environment, 29 October-2 November 2012. 155.

References

1. Zhigunov, A.V. Theory and Practice of Growing Planting Stock with a Closed Root System; SPbNIILKh: Saint Petersburg, Russia, 2000; 293 p.

2. Zhigunov, A.V.; Markova, I.A. Production of Planting Stock in Forest Nurseries of the North-West of Russia: Practical Recommendations; SPbNIILKh: Saint Petersburg, Russia, 2005; 120 p.

3. Kachinsky, N.A. Mechanical and Microaggregate Composition of Soil, Methods for Its Study; Publishing House of the USSR Academy of Sciences: Moscow, USSR, 1958; 192 p.

4. Kolesnikov, V.A. Methods for Studying the Root System of Woody Plants, 2nd ed.; revised and enlarged.; Lesnaya Promyshlennost: Moscow, USSR, 1972; 152 p.

5. Evlakov P.M., Tsarev A.P., Tsareva R.P., Rzhevsky S.G., Zapletin V. // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 226 012018.

6. FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Rome. https://doi.org/10.4060/ca8753en]

7. Fossati T., Development of molecular markers to assess the level of introgression of Populus tremula into P. alba natural populations / T. Fossati, G. Patrignani, I. Zapelli, M. Sabatti, F. Sala, Castiglione S. // Plant Breed. 2004. V. 123. P. 382–385.

8. Hannay J., New study finds global forest area per capita has decreased by over 60 %. URL: https://www.https://ioppublishing.org/news/new-study-finds-global-forest-area-per-capita-has-decreased-by-over-60/.

9. Singh, A. Poplars and willows for increasing the livelihood and rural development: A review / A. Singh, A. Kumar. – in Report on International Poplar Commission 24th Session, Dehradun, Poplars and willows: trees for society and the environment, 29 October-2 November 2012. 155.

DOI: 10.58168/Forestry2025_415-423
УДК 630 232.5

ОПЫТ РАЗМНОЖЕНИЯ «ТОПОЛЯ ПОБЕДЫ» УЧЁНЫМИ ВСЕРОССИЙСКОГО НИИ ЛЕСНОЙ ГЕНЕТИКИ, СЕЛЕКЦИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ (В ГОД 80-ЛЕТИЯ ПОБЕДЫ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ 1941-1945 ГГ.)

О.М. Корчагин
к.б.н., директор,
Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, г. Воронеж, Россия

В.А. Царев
к.с.-х.н., старший научный сотрудник,
Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Показана история легендарного «Тополя Победы», представлены результаты его размножения с закрытой корневой системой в лабораторных условиях Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии» (ФГБУ “ВНИИЛГИСбиотех).

Ключевые слова: «Тополь Победы», стеблевые черенки, укоренение, выращивание саженцев с закрытой корневой системой, динамика роста.

EXPERIENCE IN PROPAGATING THE "VICTORY POPLAR" BY SCIENTISTS OF THE ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF FOREST GENETICS, BREEDING, AND BIOTECHNOLOGY (IN THE YEAR OF THE 80TH ANNIVERSARY OF VICTORY IN THE GREAT PATRIOTIC WAR OF 1941–1945)

O.M. Korchagin
candidate of biological sciences, director,
All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding, and Biotechnology, Voronezh, Russia

V.A. Tsarev
candidate of agricultural sciences, senior researcher,
All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding, and Biotechnology, Voronezh, Russia

Abstract.
The history of the legendary "Victory Poplar" is presented, along with the results of its propagation using a containerized root system in laboratory conditions at the All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding, and Biotechnology (VNIILGISbiotech).

Keywords: "Victory Poplar," stem cuttings, rooting, cultivation of seedlings with containerized root system, growth dynamics.

© Корчагин О. М., Царев В. А., 2025

«Тополь Победы», переживший все тяготы Великой Отечественной войны и доживший до наших дней, произрастает на площади “Павших Борцов” в г. Волгограде и признан уникальным природным памятником Сталинградской битвы. История данного тополя начиналась с 1936 года, когда бывший “Гоголевский сад” был заложен 9-ютысячаминовыми молодыми деревьями, в том числе каштанами, платанами, ясенями, соснами и тополями. И все из этих высаженных деревьев в период боев 1942-1943 гг. погибли. В живых осталось лишь одно дерево тополя, которое решением Волгоградского Малого Совета народных депутатов от 25 февраля 1993 года за № 6/41 объявлено деревом – особо охраняемым объектом города Волгограда. Возле дерева была установлена памятная табличка, на которой написано: “Природно-Исторический Памятник: *Тополь этот пронес жизнь свою через битву великую*”.

Возраст этого дерева к настоящему времени оценивается около90 лет. Как свидетель истории, весь израненный осколками тополь Победы является символом стойкости и мужества. На рисунке 1представлен общий вид этого тополя, его зажившие раны (рисунке 2) и мемориальная табличка (рисунок 3).

Рисунок 1 – «Тополь Победы» на площади Павших Борцов в г. Волгограде

Рисунок 2 – Тополь Победы с мемориальным камнем

Рисунок 3 – Мемориальный камень у Природно-исторического памятника «Тополя Победы» в городе-герое Волгограде

Рисунок 4 – «Тополь Победы» в г. Воронеже сажают ветераны-защитники Воронежа, мэр Воронежа А.В. Гусев и директор Всероссийского НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии О.М. Корчагин (Площадь Победы, г. Воронеж,2015)

Специалистами Волгоградского ботанического сада в 2014 году было принято решение размножить этот тополь и высадить его в городах-героях и других регионах страны и, тем самым, сохранить память о Великом Подвиге Советского народа в Великой Отечественной войне. К этой акции в декабре 2014 года присоединились и сотрудники ФГБУ “ВНИИЛГИСбиотех”. Генетический материал тополя Победы был привезен в наш институт 30 декабря 2014 года из Волгоградского Ботанического сада.

Учёные биотехнологи Воронежского института лесной генетики приступили к работе, и им удалось расклонировать легендарный тополь. Выращенный посадочный материал весной 2015 года ко дню 70-летия Победы в Великой Отечественной войне был безвозмездно передан организациям и учреждениям России. Прежде всего, молодой саженец «Тополя Победы» посадили в Воронеже. Акция проходила в центре Воронежа – ветераны Великой Отечественной войны, мэр города (а ныне губернатор Воронежской области) А.В. Гусев и

директор Всероссийского НИИ лесной генетики О.М. Корчагин посадили молодой саженец на Площади Победы (рисунок 4, 5). Также «Тополь Победы» был распространён и высажен на различных регионах России, в том числе на мемориалах Северного Кавказа и юго-восточных регионах России, в том числе в Осетии.

Рисунок 5 – Директор Всероссийского НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии О.М. Корчагин (справа) рассказывает мэру Воронежа А.В. Гусеву историю «Тополя Победы» и достижения учёных института по его клонированию и получению полноценного саженца

Рисунок 6 – Ветераны Великой Отечественной войны на акции посадки «Тополя Победы» (город-герой Волгоград, Мамаев Курган, 9 мая 2015 года)

Рисунок 7 – Директор Всероссийского НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии О.М. Корчагин выступает с поздравлением перед ветеранами и с предложением высадить саженец «Тополя Победы» (город-герой Волгоград, Мамаев Курган, 9 мая 2015 года)

Рисунок 8 – Директор Всероссийского НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии О.М. Корчагин представляет саженец «Тополя Победы» губернатору Волгоградской области А.С. Бочарову и Руководителю Рослесхоза И.В. Валентику (город-герой Волгоград, Мамаев Курган, 9 мая 2015 года)

Отдельно стоит упомянуть акцию посадки «Тополя Победы», которая состоялась в городе-герое Волгограде на Мамаевом Кургане в 2015 году. Сначала выступил губернатор Волгоградской области А.С. Бочаров, который отметил важность сохранения памяти павших, далее Руководитель Рослесхоза И.В. Валентик поздравил ветеранов (рисунок 6) с праздником и в заключение директор Всероссийского НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии О.М. Корчагин рассказал о подарке ветеранам - саженце «Тополя Победы» (рисунок 7, 8, 9, 10).

Рисунок 9 – Саженец «Тополя Победы» сажают губернатор Волгоградской области А.С. Бочаров и Руководитель Рослесхоза И.В. Валентик (город-герой Волгоград, Мамаев Курган, 9 мая 2015 года)

Рисунок 10– Саженец «Тополя Победы», расклонированный и выращенный учёными Всероссийского НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии (город-герой Волгоград, Мамаев Курган, 9 мая 2015 года)

В дальнейшем были продолжены работы по укоренению и выращиванию саженцев тополя Победы, заложена маточная плантация и укоренительное отделение на территории лесопаркового участка ФГБУ “ВНИИЛГИСбиотех”.

В 2022-2023 гг. была создана производственная маточная плантация из 20-ти клонов, гибридов и сортов тополей, где был, в том числе, размножен и «Тополь Победы».

В юбилейный 2025 год, в честь 80-летия Победы в Великой Отечественной войне, было принято решение вырастить 80 саженцев «Тополя Победы». В январе 2025 года были

заготовлены стеблевые черенки. Выращивание укорененных саженцев проходило в специальных условиях. В качестве субстрата использовался питательный грунт с микроэлементами с повышенным содержанием органических компонентов (смесь торфа, песок, доломитовая мука, комплексное минеральное удобрение). В качестве дополнительного освещения с 12-часовым фотопериодом использовались светодиодные светильники для растений стационарные марки ТМ “Feron” серии AL 7002 мощностью 18 Вт и с фотосинтетическим фотонным потоком 33 мкмоль/с. Регулярно проводились поливы, осуществлялись специальные химические обработки при борьбе с вредителями.

Определение укореняемости стеблевых черенков и замеры роста саженцев тополя проводились еженедельно в период с 14 января до 30 апреля.

Динамика ежемесячных замеров представлена в таблице 1.

Таблица 1– Динамика роста саженцев «Тополя Победы»

Дата замеров	Динамика роста по высоте, см		Ежемесячные приросты, см
	средняя	максимальная	
29.01.25	3,80±0,19	8,00 ± 0,40	3,80 ± 0,19
26.02.25	13,4±0,67	15,0± 0,75	9,60 ± 0,48
26.03.25	28,3± 1,41	46,0± 2,30	14,9± 0,74
30.04.25	37,4± 1,87	51,0± 2,55	9,10 ± 0,45

Средняя высота выращенных саженцев «Тополя Победы» за 3,5 месяца достигла 37,4 см. При этом средний прирост за последний месяц составил 9,1 см. Общий вид роста выращенных растений тополя Победы представлен на рисунке 11.

Рисунок 11 – Саженцы тополя Победы в возрасте 2,5 месяца, средняя высота 28,3 см. Фото Р.П. Царевой, 26.03.25 г.

Выращенные саженцы «Тополя Победы» были переданы в Департаменты лесного хозяйства по Федеральным округам, в подведомственные учреждения Федерального агентства лесного хозяйства и некоторые региональные Министерства лесного хозяйства, которые в торжественной обстановке провели юбилейные акции посадки саженцев «Тополя Победы» (рисунок 12,13).

Рисунок 12 – Саженец «Тополя Победы» посажен директором НИИ лесной генетики О.М. Корчагиным и Министром лесного хозяйства Воронежской области В.А. Оробинским (Мемориал погибшим в годы Великой Отечественной войны в Сомовском лесничестве Воронежской области, 5 мая 2025 г.)

Рисунок 13 – Саженец «Тополя Победы» сажают директор Всероссийского НИИ лесной генетики О.М. Корчагин, Глава Администрации Комсомольского сельского поселения Виктор Сергеевич Забалуев и волонтёры Князевской средней школы (Воронежская область, Рамонский район, с. Князево, 6 мая 2025 г.)

Во время акций посадки саженцев «Тополя Победы» всегда присутствовало много молодёжи, школьников, волонтёров и просто местных жителей. Это даёт надежду, что память о павших героях в годы Великой Отечественной войны не угаснет, и эти деревья будут ещё долгим напоминанием грядущим поколениям о бессмертном подвиге наших доблестных защитниках Отечества!

Список литературы

1. Царев А.П., Лаур Н.В., Царев В.А., Царева Р.П. Современное состояние лесной селекции в Российской Федерации: тренд послед них десятилетий // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2021. – № 6. – С. 38–55. DOI: 37482/0536-1036-2021-6-38-55.

2. Корчагин, О. М. Ассортимент тополей отечественной и зарубежной селекции для защитного лесоразведения в Донском водосборном бассейне / О. М. Корчагин, В. А. Царев, Р. П. Царева // Лесная мелиорация и эколого-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна: материалы Национальной научной конференции, Волгоград, 29–30 октября 2020 года. – Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2020. – С. 49-54.

3. Корчагин, О. М. Результаты интродукции различных форм и гибридов тополя в Волгоградской области / О. М. Корчагин, Р. П. Царева, В. А. Царев // Научно-агрономический журнал. – 2018. – № 2(103). – С. 24-25.

References

1. Tsarev, A. P., Laur, N. V., Tsarev, V. A., & Tsareva, R. P. (2021). Sovremennoe sostoyanie lesnoi selektsii v Rossiiskoi Federatsii: trend poslednikh desyatiletii [Current state of forest selection in the Russian Federation: Trend of the last decades]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Lesnoi Zhurnal*, (6), 38–55. URL: https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-38-55.

2. Korchagin, O. M., Tsarev, V. A., & Tsareva, R. P. (2020). Assortiment topolei otechestvennoi i zarubezhnoi selektsii dlya zashchitnogo lesorazvedeniya v Donskom vodosbornom basseine [Assortment of poplars of domestic and foreign selection for protective afforestation in the Don river basin]. In *Lesnaya melioratsiya i ekologo-gidrologicheskie problemy Donskogo vodosbornogo basseina: materiały National'noi nauchnoi konferentsii, Volgograd, 29–30 oktyabrya 2020 goda* (pp. 49–54). Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences.

3. Korchagin, O. M., Tsareva, R. P., & Tsarev, V. A. (2018). Rezul'taty introduktsii razlichnykh form i gibridov topolya v Volgogradskoi oblasti [Results of the introduction of various forms and hybrids of poplar in the Volgograd region]. *Nauchno-Agronomicheskii Zhurnal*, (2)(103), 24–25.

DOI: 10.58168/Forestry2025_424-428
УДК 631.53.01

СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА КЕДРА КОРЕЙСКОГО (*PINUS KORAIENSIS* SIEBOLD ET ZUCC.) В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ НА ЮГЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Г.В. Кузнецова
к.б.н., доцент, с.н.с.
Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН), г. Красноярск, Россия

Аннотация
Приведены результаты фенотипических признаков роста, сохранности, семенной продуктивности и адаптивной способности 30 –летних климатипов кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc) **в географических культурах на юге Красноярского края.** Проведена предварительная селекционная оценка перспективности климатипов кедра корейского по изученным признакам.
Ключевые слова: кедр корейский, климатип, рост, сохранность, семеношение

SELECTION EVALUATION OF KOREAN PINE (PINUS KORAIENSIS SIEBOLD ET ZUCC.) IN GEOGRAPHICAL CULTURES IN THE SOUTH OF KRASNOYARSK REGION

G. V. Kuznetsova
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia

Abstract
The results of phenotypic traits of growth, preservation, seed productivity and adaptive capacity of 30-year-old climatypes of Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) in geographical cultures in the south of Krasnoyarsk Krai are presented. A preliminary selection assessment of the prospects of climatypes of Korean pine according to the studied traits was carried out.
Keywords: Korean pine, climatype, growth, preservation, seed production

В 80-х годах под руководством А.И. Ирошникова в Красноярском крае была заложена сеть географических культур по общей программе ВНИИЛМ (1972). При выборе пунктов для закладки географических культур сосны кедровых сосен - в Ермаковском лесхозе (Северная Алтайско-Саянская провинция темнохвойных лесов) в основном руководствовались выбором наиболее соответствующих для того или иного вида лесорастительных районов. Ермаковский район оптимум произрастания кедра сибирского (низкогорье Западного Саяна, 500м над ур. моря). В Ермаковском лесхозе географические культуры были созданы в 1983 году Н.А. Ларионовой и Г.В. Кузнецовой путем посадки 6 - летних кедра корейского, выращенных на питомнике Ермаковского лесхоза. Географические культуры представлены 2 происхождениями кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc) - Облученский лесхоз Хабаровского края и Чугуевский лесхоз Приморского края. Начиная с 10 - летнего возраста, в географических культурах кедровых сосен проводили наблюдения за развитием репродуктивных органов, семеношением, продуцированием пыльцы, грибными заболеваниями **[5,2]**

В данном сообщении освещены результаты селекционной оценка кедра корейского в географических культурах на юге Красноярского края. Согласно программе и методике работ

© Кузнецова Г. В., 2025

по географическим культурам [4] проведена оценка фенотипических признаков роста, сохранности, семенной продуктивности и адаптивной способности 30 –летних климатипов кедра корейского в новых условиях. В данной работе представлены результаты инвентаризации географических культур кедра корейского (2012 год). Для сравнения приводятся результаты местного климатипа кедра сибирского *(Pinus sibirica* Du Tour) Красноярский край, ермаковский климатип

Как показали результаты инвентаризации оба происхождения кедра корейского почти не уступают по сохранности кедру сибирскому. У потомств кедра корейского, лучшим по сохранности является климатип из Чугуевского лесхоза Приморского края его сохранность составляла 86 %. (рисунок 1).

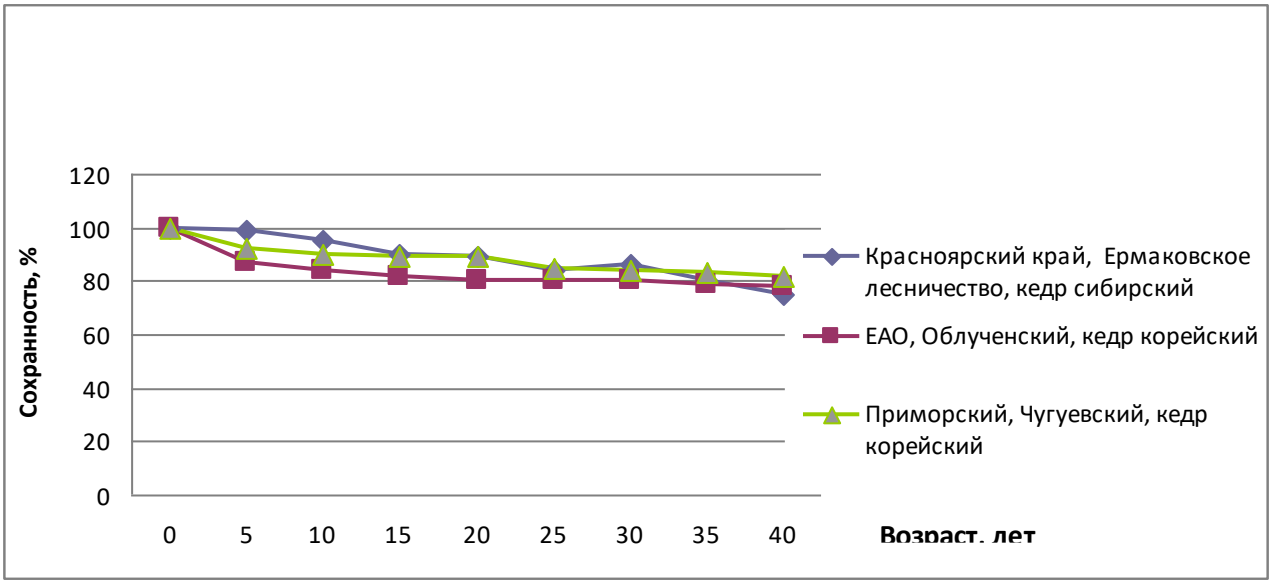


Рисунок 1. Изменение сохранности с возрастом у климатипов кедровых сосен в Красноярском крае

Из важных показателей, характеризующих устойчивость потомств кедровых сосен в пункте испытания, были изучены основные параметры роста (таблица1).

Таблица 1. Характеристика роста климаттпов кедра корейского в Красноярском крак

Климатип	Высота, м	Диаметр, см	Текущий прирост. см	Диаметр кроны, м	Длина хвои, см	Количество веток в мутовке (шт.)
ЕАО, облученский	11,2±0,37	12,6±0,25	48,5±1,41	3,0±0,24	10,2±0,30	4,2±0,19
Приморский. чугуевский	8,5±0,28	13,0±0,37	48,0±1,42	4,7±0,13	10,7±0,21	4,7±0,29
Красноярский, ермаковский	9,6,2±0,32	11,2±0,26	38,0±1,40	2,5±0,16	8,7±0,25	7,9±0,38

Материнские деревья кедра корейского произрастают в условиях континентального климата с низкими температурами воздуха зимой и высокими летом, тем не менее, в оптимальных же условиях для кедра сибирского (юг Красноярского края) по ростовым

показателям оба климатипа кедра корейского не уступают местному кедру сибирскому (таблица1). Чугуевский климатип отличается большим диаметром, более широкой кроной и большим количеством веток в мутовках, что наследственно обусловлено, так как материнские деревья чугуевского климатипа произрастают южнее облученского климатипа. Количество веток в мутовке является также и межвидовым признаком. В оптимальных условиях произрастания кедровых сосен, у кедра сибирского количество веток в мутовках больше чем у кедра корейского в оптимальных условиях его роста. В данном месте тестирования (юг Красноярского края) этот признак наследственно обусловлен как между видами кедровых сосен, так и между климатипами внутри этих видов (таблица1).

Ростовые процессы у климатипов на длительном промежутке времени в пунктах их тестирования изучали по радиальному росту (ширине годичных колец, ШГК). Сравнительный анализ погодичной изменчивости радиального прироста на юге Красноярского края (рисунок1) выявил, что в среднем ширина годичного кольца (ШГК) максимальная 4,8 мм у местного климатипа кедра сибирского наблюдалась в возрасте 15 лет. У климатипов кедра корейского максимальная ШГК наблюдалась позже по возрасту: у чугуевского климатипа (4,5мм) в 18 лет и облученского климатипа (4.3мм и 4,4мм в возрасте 16 лет и соответственно в 18 лет). В дальнейшем, с возрастом, у обоих видов наблюдается снижение ШГК. К 2013 году ШКК у кедра сибирского и климатипов кедра корейского не превышает 1 мм.

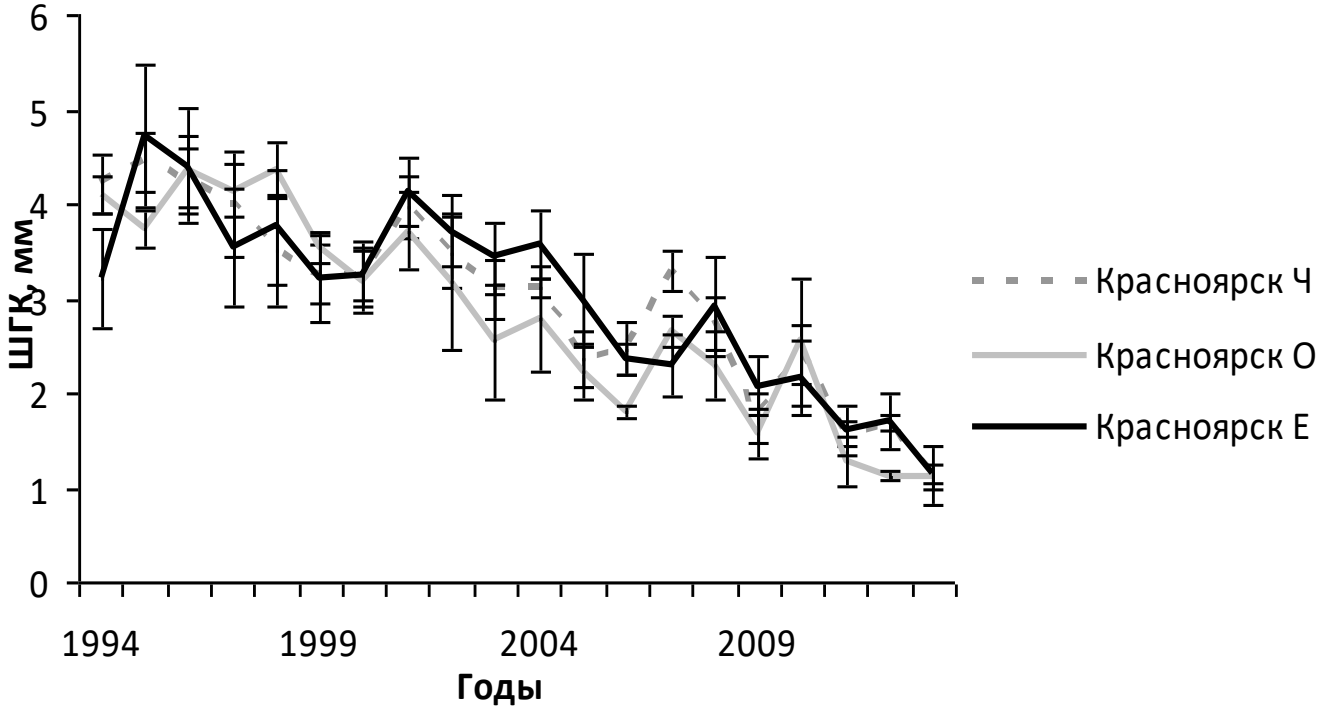


Рисунок 2 .Погодичная изменчивость ширины годичного кольца у кедровых сосен на юге Красноярского края (Красноярск Ч – кедр корейский, чугуевский климатип; Красноярск О - – кедр корейский, облученский климатип; Красноярск Е – кедр сибирский, ермаквский климатип).

В результате проведенных исследований выявлено положительное влияние условий среды на ШГК у климатипов кедра корейского в пункте тестирования на юге Красноярского края **[6].**

Изучение семеношения, качества семян у сосны корейской в географических культурах имеет большое значение для их размножения в новых условиях выращивания, а также для накопления данных о влиянии географического происхождения и экологических условий на характер роста и развития сосны корейской. Единичные женские шишки у климатипов кедра корейского встречались с 9-летнего возраста. На данном этапе ежегодно

отмечается семеношение у 50 - 65 % особей кедра корейского. Важным показателем семеношения является морфометрическая характеристика шишек и жизнеспособность семян. В таблице 2 приведены средние показатели шишек и семян за два года за 2 года исследования.

Таблица 2. Характеристика шишек и семян кедра корейского в географических культурах (Ермаковский лесхоз Красноярского края)

Происхождение, климатип	Шишки			Масса 1000 шт. семян	Жизнеспособность, %
	Средний вес, г	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мм		
Приморский, чугуевский	121,6±4,11	142,8±4,47	89,3±2,77	483	76
ЕАО, облученский	102,9±5,11	97,9±3,60	74,0±2,11	446	73

У особей чугуевского климатипа, как более южного происхождения, шишки крупнее по размеру: средняя длина составляет 142,8 мм (максимальная 161 мм), ширина – 89 мм (максимальная 99 мм). Масса 1000 штук семян у чугуевского климатипа составляет 483 г и 445 г - у облученского. Аналогичные средние показатели размера шишек и семян характерны для кедра корейского в естественных условиях произрастания.

В результате проведенной селекционной оценки выявлены высокая сохранность, успешный рост, постоянное семеношение с жизнеспособными семенами климатипов кедра корейского на юге Красноярского края, что являются важнейшими показателями адаптации в новых условиях произрастания. Опыты по выращиванию этого вида в географических культурах показывают, что кедр корейский можно использовать за пределами его ареала. Этот вид может быть рекомендован для массовой интродукции в леса Средней Сибири, как декоративное дерево в антропогенные ландшафты, а также для использования в опытных плантациях для получения пищевых семян **[1,3].**

Исследования выполнены в рамках базового проекта № 0356-2019-0024

Список литературы

1. Братилова Н.П. Адаптационная способность кедра корейского на юге Средней Сибири //Лесное хозяйство –2004. –№5. –С.28–29.

2. Гродницкая И.Д., Кузнецова Г.В. Заболевания *Pinus sylvestris* L. и *Pinus sibirica* Du Tour в географических культурах и лесных питомниках Красноярского края и Хакасии // Хвойные бореальной зоны. –2012.– Т. 30, № 1–2. С. 55–60.

3. Ирошников А.И., Твеленев М.В. Изучение генофонда, интродукции и селекции кедровых сосен //Лесоведение. –2001. – № 4. – С.62-–8.

4. Изучение имеющихся и создание новых географических культур (программа и методика работ). –Пушкино, 1972. – 17с

5.Кузнецова Г.В. Рост и репродуктивный процесс кедра сибирского и кедра корейского в географических культурах в Красноярском крае // Лесное хоз.-во. –1998. – №6.– С. 37–8

6. Кузнецова Г.В., Грек В.С. Адаптация кедровых сосен *Pinus sibirica* Du Tour и *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. к различным экологическим факторам в местах их тестирования // Сибирский лесной журнал. –2016.– № 5. –С. 72–80.

References

1. Bratilova N.P. The adaptive capacity of the Korean cedar in the south of Central Siberia //Forestry, 2004, No. 5, pp.28-29.

2. Grodnitskaya I.D., Kuznetsova G.V. Diseases of Pinus sylvestris L. and Pinus sibirica Du Tour in geographical cultures and forest nurseries of the Krasnoyarsk Territory and Khakassia // Conifers of the boreal zone. -2012. Vol. 30, No. 1-2. pp. 55-60.

3. Iroshnikov A.I., Twelenev M.V. Study of the gene pool, introduction and breeding of cedar pines //Forestry science. -2001. – No. 4. – p.62--8.

4. Study of existing and creation of new geographical cultures (program and methodology of work). –Pushkino, 1972. – 17c

5.Kuznetsova G.V. The growth and reproductive process of Siberian cedar and Korean cedar in geographical cultures in the Krasnoyarsk Territory // Lesnoe khoz.-vo. -1998. – №6.– pp. 37-8

6. Kuznetsova G.V., Grek V.S. Adaptation of cedar pines Pinus sibirica Du Tour and Pinus koraiensis Siebold et Zucc. to various environmental factors in their testing sites // Siberian Forest Journal. -2016.– № 5. –pp. 72-80.

DOI: 10.58168/Forestry2025_429-434
УДК 631.95

ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРИЖИВАЕМОСТИ САЖЕНЦЕВ

М.А. Куттуева
студент, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Россия

Аннотация.
Низкая приживаемость саженцев, особенно в условиях деградированных почв, является серьезным препятствием для успешного восстановления лесов и создания устойчивых агроэкосистем. Данное исследование посвящено оценке эффективности совместного применения фитомелиорации и инокуляции почвенными микроорганизмами для повышения приживаемости саженцев.
Ключевые слова: фитомелиорация, почвенные микроорганизмы, микориза, азотфиксация, приживаемость саженцев, восстановление почв.

PHYTOMELIORATION AND THE USE OF SOIL MICROORGANISMS TO IMPROVE THE SURVIVAL OF SEEDLINGS

M.A. Kuttueva
Student, St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, Russia

Abstract.
The low survival rate of seedlings, especially in conditions of degraded soils, is a serious obstacle to the successful restoration of forests and the creation of sustainable agroecosystems. This study is devoted to evaluating the effectiveness of the combined use of phytomelioration and inoculation with soil microorganisms to increase the survival rate of seedlings.
Keywords: phytomelioration, soil microorganisms, mycorrhiza, nitrogen fixation, survival of seedlings, soil restoration.

Проблема низкой приживаемости саженцев после посадки представляет собой серьезную угрозу для эффективного лесовосстановления, ведения сельского хозяйства и сохранения биоразнообразия. Эта проблема имеет как значительные экономические, так и серьезные экологические последствия. Низкая приживаемость саженцев влечет за собой ощутимые экономические проблемы, выражающиеся в необходимости повторных посадок. Это, в свою очередь, увеличивает затраты на посадочный материал, оплату труда, подготовку почвы и логистику. Задержки в восстановлении лесных массивов или закладке садов негативно отражаются на долгосрочных экономических перспективах лесного и сельского хозяйства, приводя к снижению объемов производства древесины, фруктов и других сельскохозяйственных культур. В конечном итоге, это чревато экономическими потерями как для отдельных предприятий, так и для целых регионов [1]. Важно отметить, что затраты на уход за саженцами, не сумевшими прижиться, представляют собой безвозвратные инвестиции. Однако экономические потери – это лишь одна сторона медали. Не менее серьезными являются и экологические последствия низкой приживаемости саженцев. Неудача в восстановлении лесов или создании садов ведет к замедлению процессов поглощения углекислого газа из атмосферы, что способствует усугублению проблемы изменения климата. Потеря растительного покрова увеличивает риск эрозии почвы, деградации земель и

© Куттуева М. А., 2025

опустынивания, что негативно влияет на плодородие почв и водные ресурсы. Уменьшение площадей лесов и садов приводит к сокращению местообитаний для многих видов животных и растений, что способствует потере биоразнообразия и нарушению экологического баланса. Кроме того, повторные посадки требуют использования большего количества ресурсов, включая воду, удобрения и энергию, что также оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

В свете осознания серьезности этих последствий становится очевидным, что традиционные методы улучшения приживаемости саженцев, такие как применение химических удобрений и искусственный полив, требуют критической переоценки. Несмотря на их краткосрочную эффективность, они обладают существенными недостатками и несут в себе экологические риски и высокие финансовые затраты. Использование химических удобрений может приводить к загрязнению почвы и водных ресурсов нитратами и фосфатами, что вызывает эвтрофикацию водоемов и негативно влияет на водные экосистемы. Чрезмерное внесение удобрений может приводить к дисбалансу питательных веществ в почве, угнетению полезной почвенной микрофлоры и снижению устойчивости растений к болезням и вредителям [2]. Кроме того, производство и транспортировка химических удобрений требуют значительных затрат энергии и ресурсов, что способствует увеличению выбросов парниковых газов. Искусственный полив, особенно в засушливых регионах, может приводить к истощению водных ресурсов и засолению почв. Интенсивное использование воды для полива конкурирует с потребностями других пользователей, включая население и сельское хозяйство. Засоление почв снижает их плодородие и ухудшает условия для роста растений. Кроме того, системы искусственного полива требуют значительных инвестиций в строительство и обслуживание, а также потребляют электроэнергию, что увеличивает экономическую нагрузку и оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Именно поэтому, в поисках альтернативных решений, все больше внимания привлекают фитомелиорация и использование почвенных микроорганизмов. Фитомелиорация представляет собой комплексный подход к улучшению земель с использованием растений, направленный на восстановление и повышение плодородия почв, оптимизацию экологических условий и повышение устойчивости агроландшафтов. Её ключевая цель - предотвращение и устранение деградации почв, а также повышение продуктивности земель и защита от эрозии. Принципы фитомелиорации основаны на использовании биологических свойств растений для улучшения почвенных характеристик и создания устойчивых экосистем. Эти методы представляют собой более устойчивые и экологически дружественные подходы к улучшению приживаемости саженцев. Они основаны на использовании естественных процессов и взаимодействий между растениями и микроорганизмами для улучшения плодородия почвы, повышения устойчивости растений к стрессовым факторам и снижения зависимости от внешних ресурсов. Фитомелиорация способствует созданию устойчивых экосистем, способных саморегулироваться и поддерживать высокую продуктивность в долгосрочной перспективе. Эти методы направлены на улучшение естественных механизмов защиты растений и повышения их адаптивности к изменяющимся условиям окружающей среды. Фитомелиорация и использование почвенных микроорганизмов не только не оказывают негативного воздействия на окружающую среду, но и активно способствуют улучшению состояния почвы, водных ресурсов и поддержанию биоразнообразия [5]. Опираясь на природные материалы и процессы, эти методы позволяют значительно снизить зависимость от химических веществ и сложных искусственных систем. Более того, в долгосрочной перспективе, такой подход может оказаться экономически более выгодным, чем традиционные методы, благодаря сокращению затрат на удобрения, полив и борьбу с болезнями и вредителями. Повышенная устойчивость растений к различным стрессовым факторам, обеспечиваемая фитомелиорацией и использованием почвенных микроорганизмов, в свою очередь, снижает риск потерь урожая и исключает необходимость в частых повторных посадках.

Эффективность фитомелиорации обусловлена многогранными механизмами воздействия фитомелиорантов на почвенные свойства. Во-первых, они способствуют улучшению структуры почвы, повышая её водопроницаемость и аэрацию. Развитая корневая система фитомелиорантов разрыхляет почву, создавая каналы для проникновения воды и воздуха, что особенно важно для тяжелых, глинистых почв. Во-вторых, фитомелиоранты эффективно снижают эрозию и деградацию почвы. Корни растений укрепляют почвенный слой, предотвращая смыв и выдувание частиц, а также стабилизируют склоны, препятствуя оползням и обвалам. В-третьих, фитомелиоранты играют важную роль в регулировании водного режима. Они поглощают избыточную влагу из почвы, предотвращая заболачивание, и удерживают её, снижая испарение и обеспечивая растениям доступ к воде в периоды засухи. В-четвертых, фитомелиоранты обогащают почву органическим веществом. Отмершие части растений (листья, корни) разлагаются, образуя гумус, который улучшает структуру почвы, повышает её плодородие и удерживает влагу. Помимо непосредственного воздействия на почву, фитомелиорация также оказывает влияние на микроклимат прилегающей территории, снижая температуру почвы за счет затенения и увеличивая влажность воздуха за счет транспирации [6]. Успешное применение фитомелиорации требует тщательного подбора фитомелиорантов с учетом климатических условий и почвенных характеристик. Выбор видов должен быть теоретически обоснован, учитывая их адаптивность к местным условиям, способность улучшать почвенные свойства и оказывать положительное влияние на микроклимат.

Какая же роль почвенных микроорганизмов в повышении приживаемости саженцев? Почва представляет собой сложную и динамичную экосистему, населенную огромным разнообразием микроорганизмов, многие из которых вступают в симбиотические отношения с растениями, оказывая существенное влияние на их рост, развитие и приживаемость. Среди основных групп почвенных микроорганизмов, участвующих в таких взаимодействиях, выделяют микоризные грибы, азотфиксирующие бактерии, фосфатмобилизующие бактерии и PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) [4]. Микоризные грибы формируют симбиоз с корнями растений, образуя микоризу. Гифы грибов проникают в корни или оплетают их, увеличивая площадь поглощения питательных веществ и воды из почвы. Азотфиксирующие бактерии, такие как Rhizobium и Azotobacter, способны фиксировать атмосферный азот и преобразовывать его в доступные для растений формы. Фосфатмобилизующие бактерии, в свою очередь, переводят нерастворимые соединения фосфора в почве в растворимые формы, которые могут быть усвоены растениями. PGPR – это группа бактерий, обитающих в ризосфере (прикорневой зоне) растений и оказывающих положительное влияние на их рост и развитие различными способами. Механизмы воздействия микроорганизмов на рост и развитие саженцев разнообразны. Во-первых, они улучшают поглощение питательных веществ, таких как азот, фосфор и микроэлементы. Микоризные грибы и фосфатмобилизующие бактерии увеличивают доступность фосфора, а азотфиксирующие бактерии обеспечивают растения азотом. Во-вторых, микроорганизмы стимулируют рост корневой системы. PGPR, например, выделяют гормоны роста, такие как ауксины и цитокинины, которые способствуют развитию корневой системы. В-третьих, микроорганизмы повышают устойчивость растений к болезням и вредителям. Они могут индуцировать системную устойчивость, активируя защитные механизмы растений, а также конкурировать с патогенами за ресурсы и пространство. В-четвертых, микроорганизмы повышают устойчивость растений к абиотическим стрессам, таким как засуха, засоление и тяжелые металлы. Микоризные грибы улучшают водоснабжение растений в условиях засухи, а некоторые бактерии способны связывать тяжелые металлы, снижая их токсичное воздействие.

Эффективность симбиотических взаимодействий зависит от ряда факторов, включая тип почвы, наличие органического вещества, pH и аэрацию. Разные типы почв могут содержать разные сообщества микроорганизмов и обеспечивать разные условия для их роста и активности. Наличие органического вещества обеспечивает микроорганизмы источником энергии и питательных веществ. Оптимальный pH почвы важен для активности

микроорганизмов. Аэрация обеспечивает доступ кислорода, необходимого для дыхания аэробных микроорганизмов. Создание благоприятных условий для микроорганизмов позволяет максимально реализовать их потенциал в повышении приживаемости саженцев.

В контексте создания этих благоприятных условий особенно перспективным выглядит комбинированное применение фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами. Сочетание этих двух подходов представляет собой мощный инструмент для повышения приживаемости саженцев, основанный на теоретически обоснованном синергетическом эффекте. Суть этого эффекта заключается в том, что совместное применение фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами позволяет достичь результатов, превышающих простую сумму эффектов от их раздельного использования. Фитомелиорация, сама по себе, способствует созданию благоприятных условий для развития почвенных микроорганизмов. Улучшение структуры почвы за счет разрыхления корневой системой, повышение водопроницаемости и аэрации создают оптимальную среду для роста и активности микроорганизмов. Кроме того, отмирающие части фитомелиоративных растений обогащают почву органическим веществом, которое служит источником энергии и питательных веществ для микроорганизмов [6]. Таким образом, фитомелиорация подготавливает почву для успешной инокуляции полезными микроорганизмами. Инокуляция микроорганизмами, в свою очередь, усиливает эффект фитомелиорации, обеспечивая растениям доступ к дополнительным питательным веществам, повышая их устойчивость к стрессовым факторам и стимулируя рост корневой системы. Микроорганизмы, внесенные в почву, заселяют ризосферу и вступают в симбиотические отношения с корнями растений, оказывая положительное влияние на их развитие. Примеры успешного комбинированного применения фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами можно найти в различных исследованиях. Например, совместное использование азотфиксирующих растений и инокуляция азотфиксирующими бактериями показали высокую эффективность в восстановлении деградированных почв и повышении продуктивности сельскохозяйственных культур. Также, комбинация микоризных грибов и фитомелиоративных растений, устойчивых к засухе, оказалась успешной в повышении приживаемости саженцев в засушливых регионах. Разработка теоретических моделей оптимизации комбинированного применения фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами является важной задачей. Эти модели должны учитывать различные факторы, такие как выбор подходящих видов фитомелиорантов и микроорганизмов, определение оптимальных сроков и способов внесения микроорганизмов, а также взаимодействие между фитомелиорантами и микроорганизмами. Правильный выбор видов и методов применения позволяет достичь максимального синергетического эффекта и повысить эффективность фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами в повышении приживаемости саженцев.

Итак, применение фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами представляет собой перспективный подход к повышению приживаемости саженцев, однако, как и любая технология, требует учета ряда факторов для достижения успеха и преодоления существующих ограничений [3]. В следующем разделе мы подробно рассмотрим факторы, определяющие успешное применение этих методов, а также обсудим существующие ограничения и возможные пути их преодоления.

К факторам, способствующим успешному применению этих методов, относятся:

- Тщательный подбор видов фитомелиорантов и микроорганизмов с учетом климатических и почвенных условий. Важно выбирать виды растений и микроорганизмов, которые хорошо адаптированы к местным условиям и способны эффективно взаимодействовать друг с другом и с растениями-саженцами.
- Правильная подготовка почвы и посадочного материала. Подготовка почвы включает в себя рыхление, внесение органических удобрений и создание оптимального pH. Посадочный материал должен быть здоровым и качественным.

- Оптимальное внесение инокулянта. Важно соблюдать рекомендуемые дозы и способы внесения инокулянта, чтобы обеспечить максимальную эффективность симбиотических взаимодействий.
- Мониторинг состояния почвы и растений. Регулярный мониторинг позволяет выявлять проблемы на ранних стадиях и принимать своевременные меры для их устранения.

Наряду с факторами успеха, существуют и ограничения применения фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами:

- Высокая стоимость инокулянтов. Стоимость качественных инокулянтов может быть достаточно высокой, что ограничивает их доступность для некоторых пользователей.
- Недостаточная изученность взаимодействий между различными видами микроорганизмов и растениями. Сложность и многообразие взаимодействий в почвенной экосистеме затрудняют прогнозирование результатов применения и требуют дальнейших исследований.
- Влияние абиотических факторов (засуха, засоление) на эффективность применения. Экстремальные абиотические условия могут негативно влиять на выживаемость и активность микроорганизмов, снижая эффективность инокуляции.

Преодоление этих ограничений и учет факторов успеха позволит максимально реализовать потенциал фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами в повышении приживаемости саженцев и создании устойчивых экосистем. сделай переход от одного текста к другому.

Проведенный анализ выявил как теоретические возможности, так и потенциальные ограничения комбинированного применения фитомелиорации и инокуляции микроорганизмами. Для успешной реализации этой стратегии необходимо дальнейшее изучение механизмов взаимодействия, разработка адаптированных протоколов и учет местных условий. В заключение статьи мы суммируем основные результаты, представим оценку перспективности данного подхода, сформулируем рекомендации для будущих исследований и подчеркнем вклад данной работы в теоретическое обоснование устойчивого лесовосстановления.

Список литературы

1. Какое влияние оказывают химические удобрения на почвы водных ресурсов. URL: https://rudesignshop.ru/blog/kakoe-vliyanie-okazyvayut-himicheskie-udobreniya-na-pochvy-vodnye-resursy/ (26.08.2025).

2. Луганский Н.А. Повышение продуктивности лесов / Н.А. Луганский, С.В. Залесов, В.А. Щавровский. Екатеринбург: Урал лесотехн. ин-т, 1995, 297 с.

3. Раков А. Ю., Сирота М. А. ФИТОМЕЛИОРАЦИЯ – ОСНОВА ОХРАНЫ ПОЧВ, ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БИОЛОГИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА // Вестник АПК Ставропольск спецвыпуск № 2, 2015. С. 147-152.

4. Селюк М.П., Матенькова Е.А. Влияние консорциума почвенных микроорганизмов на здоровье почвы и растений ; Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия, С. 385-389.

5. Фитомелиорация. URL: https://studfile.net/preview/5679402/page:6/ (дата обращения 26.08.2025)

6. Фитомелиорация. Большая Российская энциклопедия. URL: https://bigenc.ru/c/fitomelioratsiia-359c0d (дата обращения 26.08.2025)

References

1. What effect do chemical fertilizers have on the soils of water resources. URL: https://rudesignshop.ru/blog/kakoe-vliyanie-okazyvayut-himicheskie-udobreniya-na-pochvy-vodnye-resursy / (08/26/2025).

2. Lugansky N.A. Increasing forest productivity / N.A. Lugansky, S.V. Zalesov, V.A. Shchavrovsky. Yekaterinburg: Ural Forestry Engineering Institute, 1995, 297 p.

3. Rakov A. Yu., Sirota M. A. PHYTOMELIORATION AS THE BASIS FOR SOIL PROTECTION, EFFICIENCY IMPROVEMENT AND BIOLOGIZATION OF AGRICULTURE // Bulletin of Agroindustrial Complex Stavropol special issue No. 2, 2015. pp. 147-152.

4. Selyuk M.P., Matenkova E.A. The influence of a consortium of soil microorganisms on soil and plant health ; Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia., pp. 385-389.

5. Phytomelioration. URL: https://studfile.net/preview/5679402/page:6/ (accessed 08/26/2025).

6. Phytomelioration. The Great Russian Encyclopedia. URL: https://bigenc.ru/c/fitomelioratsiia-359c0d (accessed 26.08.2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_435-441
УДК 630 232.429

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РОСТА И РАЗВИТИЯ КЕДРА СИБИРСКОГО В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ ЛЕСОСТЕПИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Левин
Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии (ВНИИЛГИСбиотех), Россия, Воронеж, Россия

Аннотация. Особенности технологических процессов искусственного выращивания кедра сибирского за пределами естественного ареала должны базироваться на тщательных результатах исследований специфики: биологии вида при весьма длительных этапах его онтогенеза, почвенной экологии, морфологии роста и формирования молодняков. На объекте при благоприятном сочетании факторов размещения посадочного материала сохранность вида составила 38,9 % по посадочным местам к возрасту 38 лет. Относительно изменчивости таксационных признаков к наиболее низким показателям следует отнести: высоту деревьев - 14,2% и диаметр на высоте груди - 20,7%. Наблюдаемая тесная корреляция объема ствола(V) с площадью роста (Sp) - 0,78 и площадью проекции кроны (Sk) - 0,55 указывает на влияние факторов размещения на производительность насаждения. С целью проведения рубок ухода в качестве критерия отбора можно использовать диаметр ствола, коррелирующий с диаметром кроны (Дкр) со средней степенью – 0,63 и с площадью роста (Sp) - 0,84.В культурах семеноносит 60,3 % деревьев, где мужское цветение обеспечивает 30,1% особей. С учетом развития в насаждении деревья распределены на следующие категории: лучшие - 3,7%, средние – 76,5%, отстающие- 19,8%, что указывает при категории санитарного состояния-1,1 на отсутствие жесткой дифференциации. У 18,4% деревьев наблюдается многовершинность, как явление, снижающее товарную ценность древесины, но повышающее орехоносность дерева.

Отсюда при высокой пластичности вида можно сделать заключение об его успешном произрастании на объекте в условиях интродукции. Обследованный объект в качестве географических культур может в перспективе обеспечивать семенным и вегетационным материалом создаваемые объекты для проведения селекционных работ.

Ключевые слова: кедр сибирский, интродукция, культуры, таксационные показатели, изменчивость

BIOLOGICAL POTENTIAL OF SIBERIAN CEDAR GROWTH AND DEVELOPMENT UNDER THE CONDITIONS OF INTRODUCTION IN THE FOREST-STEPPE OF THE VORONEZH REGION

S.V. Levin
All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology (VNIILGISbiotech), Russia, Voronezh, Russia

Abstract. Features of technological processes for artificial cultivation of Siberian pine outside its natural range should be based on thorough research results of the species' specifics: biology during very long ontogenesis stages, soil ecology, growth morphology, and young stand formation. At the site, with a favorable combination of planting material placement factors, species survival was 38.9% by planting spots at 38 years of age. Regarding the variability of mensurational traits, the lowest indicators include tree height - 14.2% and diameter at breast height - 20.7%. The observed strong

© Левин С. В., 2025

correlation of stem volume (V) with growth area (Sp) - 0.78 and crown projection area (Sk) - 0.55 indicates the influence of placement factors on stand productivity. For tending felling, stem diameter, correlating with crown diameter (Dkr) with a moderate degree - 0.63 and with growth area (Sp) - 0.84, can be used as a selection criterion. In cultures, 60.3% of trees bear seed, with male flowering provided by 30.1% of individuals. Considering stand development, trees are distributed into the following categories: best - 3.7%, average - 76.5%, lagging - 19.8%, indicating no strict differentiation in sanitary condition category - 1.1. Multitopness is observed in 18.4% of trees, a phenomenon reducing timber marketability but increasing nut-bearing capacity.

Hence, given the species' high plasticity, it can be concluded about its successful growth at the site under introduction conditions. The surveyed site, as geographical cultures, can prospectively provide seed and vegetative material for created objects for breeding work.

Keywords: Siberian cedar, introduction, crops, taxation indicators, variability

Введение

Длительные циклы роста и развития леса (более века), требующие обширных площадей, и возрастающее негативное воздействие как антропогенных, так и природных факторов ставят перед лесным хозяйством стратегические задачи. Отрасль призвана обеспечивать потребности общества в лесном сырье, а также в экологических и социальных услугах, которые предоставляют леса. К наиболее полно оказывающим соответствующие услуги следует отнести кедровые леса, обладающие ценными сырьевыми и средообразующими свойствами. К настоящему моменту они оказались под угрозой из-за интенсивной лесоэксплуатации, приведшей к сокращению их популяций при очень медленном естественном возобновлении. В связи с этим актуальными становятся вопросы: сохранения уникальных кедровых ландшафтов, изучения их происхождения и изменчивости, рационального использования генетических ресурсов при восстановлении лесов (включая искусственное лесовосстановление на месте вырубок и пожаров, а также реконструкцию производных насаждений), и даже культивирования кедра за пределами его естественного ареала [7].

Леса лесостепного района Европейской части России (ЕЧР) относятся к защитным лесам и выполняют средообразующие и экологические функции. Введение кедровых сосен, в частности кедра сибирского или сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), будет способствовать поддержанию этих функций путем расширения породного состава лесов, повышения их продуктивности и экономической эффективности от использования прижизненных свойств орехоносных кедровых сосен (пищевое и лечебное) на землях различного целевого назначения, а также сохранению экологического потенциала лесов. Также данное направление входит в комплекс мер по развитию адаптивной селекции кедровых сосен (сибирской, корейской, европейской, кедрового стланика), что позволит существенно повысить значимость породы в условиях ее интродукции. Исследования 80-90-х годов прошлого столетия на территориях лесостепного района ЕЧР показали, что для создания насаждений различного назначения с участием кедровых сосен разрабатывалась необходимая база.

Целью работы является выявление биолого-экологических особенностей развития кедра сибирского в лесостепном районе ЕЧР на территории Семилукского коллекционно-маточного дендрария в Воронежской области.

Материалы и методы исследований

За исключением начального периода, детальное изучение культур в лесостепном районе ЕЧР было проведено в недостаточном объеме. Это означает, что нынешние исследования заполняют существенные пробелы в наших знаниях. Исследования кедра сибирского осуществлялись в последнее время автором в условиях интродукции на территории Воронежской области [8, 9].

Настоящие исследования проводятся на территории Семилукского коллекционно-маточного дендрария Воронежской области в насаждении кедра сибирского возрастом 38 лет с его назначением в качестве географических культур, созданных из семенного фонда Горного Алтая. Исходная густота культур при размещении 2х1 м составляла 4755шт./ га. На момент исследования густота составляет 1848 шт./ га при сохранности 38,9 %.

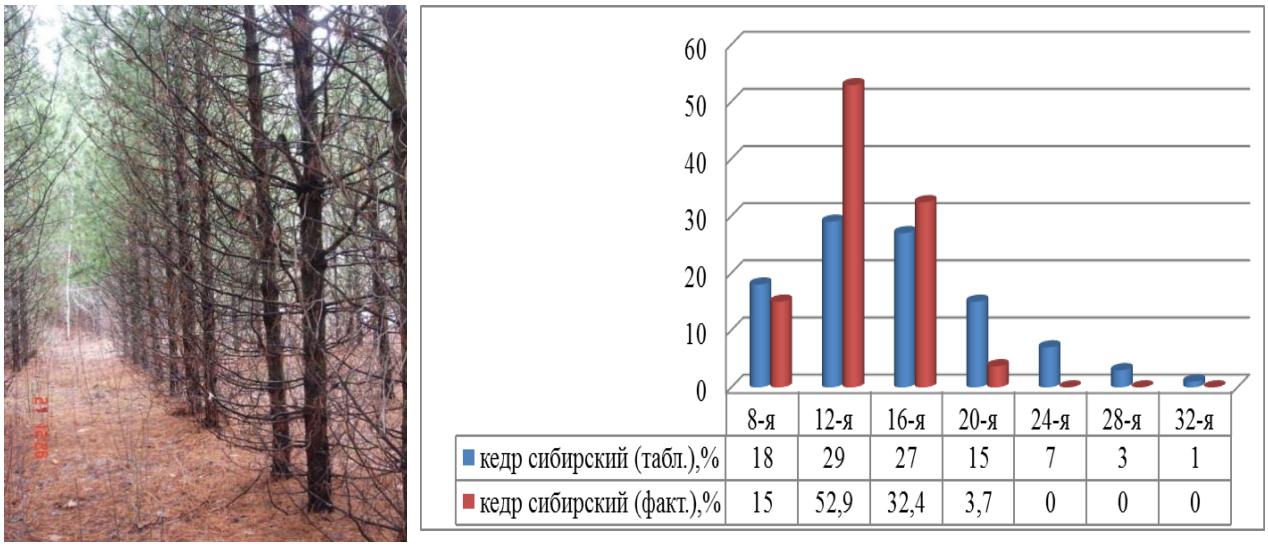
В ходе исследований были изучены интродуцированные лесные культуры. Оценивались высота деревьев и диаметр ствола на высоте груди [4], а также дополнительные таксационные показатели: высота прикрепления живой кроны и диаметр самой кроны. Были зафиксированы такие характеристики, как многовершинность, наличие лишайниковых обрастаний, плодоношение и мужское цветение. Для определения площади роста каждого дерева, исходя из расстояния до трех ближайших соседей, проводилось картирование их расположения на участке [12].

Полученный материал статистически обрабатывался с применением программы Statistica 6.0.Степень изменчивости по коэффициентам вариации (Cv,%) характеризовали с использованием шкалы, разработанной применительно к древесным растениям [11].Анализировали корреляционные связи по коэффициенту корреляции (r).

Результаты и их обсуждение

Для обеспечения устойчивого выращивания кедра сибирского в новых регионах необходимо создавать географические культуры. В.И. Некрасов[13, 14] и А.И. Ирошников [6] подчеркивали, что акклиматизация достигается только через семенное размножение и адаптацию поколений. Поэтому важно использовать семена, полученные от местных, хорошо адаптированных растений, дающих устойчивое потомство. Эти растения станут основой для дальнейшей селекции и создания лесосеменных плантаций. Путем индивидуального отбора в географических культурах можно получить улучшенный исходный материал для плантаций первого порядка, а после оценки качества потомства – и для плантаций второго порядка.

В ходе обследования было установлено, что исследуемый участок представляет собой насаждение IV класса бонитета. Возраст деревьев составляет 38 лет, что соответствует I классу возраста. Площадь насаждения – 0,1 га. Тип лесорастительных условий определен как $Д_2$, а почва – выщелоченный чернозем. Санитарное состояние насаждения оценено на уровне категории 1,1. Общий вид культур можно увидеть на рисунке 1а.



а) б)

Рис.1 - Общий вид культур - а); диаграмма сравнения распределения числа стволов по ступеням толщины – б)

Следует уделить внимание распределению деревьев по диаметру стволов, чтобы выявить возможные отклонения. Рисунок 1б демонстрирует, что для исследуемой породы (диаметр 13 см против табличных 16 см [15]) деревья сконцентрированы в категориях толщины 8, 12 и 16 см. При этом деревья не встречаются в категориях 24, 28 и 32 см. Это свидетельствует о благоприятном стечении таких обстоятельств: удачном расположении деревьев, как между рядами (2 м), так и в ряду (1 м), а также в правильной ориентации рядов с северо-востока на юго-запад.

На основе сопоставления полученных результатов с данными из источника [15] можно сделать вывод о благоприятном развитии кедра сибирского в условиях интродукции. Это проявляется в превосходстве показателей абсолютной полноты (Σq, м²) на 32,7% и запаса древесины стволов (М, м³/га) на 39% (табл.1).

Таблица 1 Сравнительный анализ таксационных показателей кедра сибирского

Сравниваемые объекты	Таксационные показатели		
	Н, м	Σq, м²	М, м³/ га
Кедр сибирский (факт.)	9,1	26,0	146
Кедр сибирский (табл.)	10,0	19,6	105

На момент проведения исследования, плотность посадок кедра оценивалась в 1848 растений на гектар, при этом коэффициент сохранности составил 38,9%. Такое снижение численности объясняется комплексом факторов: гибелью растений в первые пять лет после посадки, что является ожидаемым явлением при создании лесных культур в пределах естественного ареала вида [2, 5, 10]; а также более поздней выкопкой саженцев с закрытой корневой системой и фактом вырубки деревьев (оставшиеся "живые пни") в период 90-х годов прошлого столетия. Для сравнения, при культивировании кедра за пределами его естественного ареала, к шести годам сохраняется около 60% высаженных сеянцев [1]. Учитывая, что кедр характеризуется медленным ростом в первые 10-15 лет своей жизни, для обеспечения его лучшей адаптации и устойчивости в лесных сообществах рекомендуется выращивать его в питомнике до возраста более 5 лет [3]. Среди различных типов лесных культур, сплошные чистые посадки кедра демонстрируют наилучшие показатели приживаемости и интенсивности роста [4].

Для оценки успешности адаптации интродуцированного вида можно использовать коэффициент вариации (Cv, %), представленный в таблице 2. Наиболее стабильными таксационными признаками, демонстрирующими среднюю изменчивость, оказались высота дерева (Cv = 14,2%, диапазон 5,5-12 м) и диаметр ствола на уровне груди (Cv = 20,7%, диапазон 6-21 см). Диаметр кроны показал более высокую степень изменчивости (Cv = 23,7%, диапазон 1,3-4,8 м).

Таблица 2 Сведения по статистической обработке данных объекта

Показатели	Д 1,3, см	Н, м	hж.в.,м	Дкр.,м	V, м³	Li ,м	Sp,м²	Sk, м²
M±m	13,1±0,22	9,1±0,11	3,0±0,12	2,9±0,06	0,079±0,003	2,2±0,06	6,6±0,33	6,8±0,29
σ	2,63	1,29	1,41	0,68	0,0346	0,68	3,86	3,32
min	6	5,5	0,15	1,3	0,0105	0,8	1,18	1,33
max	21	12	6	4,8	0,23	3,7	22,82	18,1
t (95,0 %)	0,45	0,22	0,24	0,11	0,01	0,11	0,65	0,56
Cv, %	20,1	14,2	46,4	23,7	44,3	30,9	58,3	48,7

Примечание: $Д_{1,3}$ – диаметр ствола, см; Н – высота дерева, м; hж.в.- высота прикрепления живой ветви, м; Дкр. – диаметр кроны, м; V – объем ствола, м³; Li – расстояние до 3-го соседнего дерева, м; Sp – площадь роста, м²; Sk – площадь проекции кроны, м²

На момент исследования в насаждении наблюдается значительный разброс в росте деревьев: 3,7% составляют лучшие образцы, 76,5% – средние, а 19,8% – отстающие. Разница в высоте между лучшими и средними деревьями составляет 2,0 метра, а между лучшими и отстающими – 4,2 метра. Эти существенные различия открывают возможности для селекции деревьев с ускоренным ростом. Деревья, чей рост превышал средний показатель (M) более чем на два стандартных отклонения (2σ), были классифицированы как быстрорастущие. В ходе работы было идентифицировано два перспективных кандидата на статус плюсовых деревьев. Для контекста, исследования в 20-летних культурах кедра сибирского в широколиственных лесах [3] показывают, что доля лучших по росту деревьев может достигать 22%.

Несмотря на выявленные проблемы, связанные с сохранностью насаждений, пространственное распределение деревьев на исследуемой площади характеризуется равномерностью. Данный вывод подтверждается значением коэффициента изменчивости расстояния до третьего соседнего дерева (Li, м²) – 30,9%. Высокий уровень внутрипопуляционной изменчивости кедра сибирского свидетельствует о его значительных адаптивных возможностях и перспективности для целей интродукции.

Из источника [3] следует, что в качестве критериев отбора при рубках ухода до момента начала семеношения можно использовать диаметр ствола, довольно тесно коррелирующий с диаметром и протяженностью кроны. В нашем случае это нашло подтверждение, т. к. диаметр ствола ($Д_{1,3}$) коррелирует с диаметром кроны (Дкр.) при средней степени – 0,63 и кроме этого с площадью роста (Sp)- 0,84. В дополнение к этому наблюдаем, как величины диаметра кроны (Дкр.) коррелируют с площадью роста (Sp) – 0,60. При этом показатель расстояние дерева до 3-го соседа (Li) коррелирует со всеми показателями, находясь с ними как в прямой, так и обратной зависимости, указывая на роль размещения деревьев на площади как формообразующего фактора.

При установлении корреляционных связей (по коэффициенту корреляции r) следует особенно обратить внимание на корреляцию объема ствола(V): с площадью роста (Sp)- 0,78, а также с площадью проекции кроны (Sk)- 0,55 и диаметром кроны (Дкр) – 0,57. При этом связь объема ствола(V) с такими значимыми показателями, как диаметр ствола ($Д_{1,3}$)- 0,88, высота дерева (H) – 0,54 не взята во внимание, т.к. они определяют сам объем ствола (табл.3).

Таблица 3 Корреляционная зависимость таксационных показателей на объекте

Показатели	*Д 1,3, см*	*H, м*	*hж.в.,м*	*Дкр.,м*	*q i, м²*	*Li ,м*	*Sp,м²*	*Sk, м²*	*V, м³*
Д 1,3, см	1								
H, м	0,41	1,00							
hж.в.,м	0,00	-0,05	1,00						
Дкр.,м	0,63	0,44	-0,35	1,00					
q i, м²	0,99	0,39	0,00	0,61	1,00				
Li ,м	0,30	-0,11	-0,40	0,33	0,32	1,00			
Sp,м²	0,84	0,22	-0,21	0,60	0,86	0,72	1,00		
Sk, м²	0,59	0,41	-0,34	0,99	0,58	0,33	0,58	1,00	
V, м³	0,88	0,54	0,00	0,57	0,90	0,27	0,78	0,55	1

Наряду с этим установлено, что в насаждении в пору семеноношения вступило 60,3 % деревьев. Из всех деревьев мужское цветение обеспечивает 30,1% особей. Наличие лишайника на стволах деревьев зафиксировано у 24,3% особей, что свойственно по большему количеству плитчатым по коре деревьям. Многовершинность, как явление, снижающее товарную ценность древесины, но повышающее орехоносность дерева, наблюдается у 18,4 % деревьев.

Заключение

Особенности технологических процессов искусственного выращивания кедра сибирского за пределами естественного ареала должны базироваться на тщательных результатах исследований специфики: биологии вида при весьма длительных этапах его онтогенеза, почвенной экологии, морфологии роста и формирования молодняков. На основании полученных данных на объекте можно сделать заключение об успешном произрастании кедра сибирского в условиях интродукции при его высокой пластичности. Обследованный объект в качестве географических культур может в перспективе обеспечивать семенным и вегетационным материалом планируемые объекты для проведения селекционных работ.

Список литературы

1. Бех И.А., Таран И.В. Сибирское чудо – дерево. – Новосибирск: Наука, 1979. – 126 с.
2. Григорьев А.И. Некоторые итоги интродукции кедра сибирского в южной лесостепи Омской области// Воспроизводство кедровых лесов на Урале и в Западной Сибири/ Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. - 126с.
3. Дроздов И.И. Интродукция кедра сибирского в европейскую часть лесной зоны России: Обзорн. информ./ - М.:ВНИИЦлесресурс, 1999. - 32с.
4. Дроздов И.И., Янгутов А.И. Методические рекомендации по изучению лесных культур интродуцированных лесных пород/ М.: ВАСХНИЛ, 1984. - 41с
5. Дроздов И.И. Культуры хвойных интродуцентов/ М.: МЛТИ, 1987. – 91 с
6. Ирошников, А.И. Проблемы изучения и охраны генофонда кедровых сосен и их селекции. Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока. Материалы Международной конференции/ США , Портленд, 2000. - С. 92-113.
7. Ирошников А.И., Твеленев М.В. Изучение генофонда, интродукции и селекции кедровых сосен// Лесоведение, 2001, № 4. - С.62-68
8. Левин С.В. Адаптационные особенности сосны кедровой сибирской в условиях Воронежской области// В сб.: Эколого – биологическое благополучие растительного и животного мира. Мат-лы Междунар. научно – практ. конф./ Благовещенск: ДальГАУ, 2020. – С. 23 –25.
9. Левин С.В. Экологические особенности кедра сибирского в условиях интродукции на территории Воронежской области// Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Мат-лы VI Всероссийской научно-техн. конф./ Санкт – Петербург: СПбГЛТУ, 2021. Том 1. - С.253-256
10. Лоскутов, Р.И. Искусственное восстановление кедра сибирского. М.: Лесная промышленность, 1971. – 105 с.
11. Мамаев, С.А. Внутривидовая изменчивость и проблема интродукции древесных растений // Успехи интродукции растений: Сб. науч. тр., посвященный 75–летию со дня рождения академика Н.В. Цицина/ М.: Наука, 1973. – С. 128-140.
12. Нагимов, З. Я. Оценка методов определения площадей роста деревьев / З. Я. Нагимов // Леса Урала и хозяйство в них / М-во общ. и проф. образования РФ, Урал. гос. лесотехн. Академия/ Екатеринбург, 1999. – Вып. 19. – С. 82–98.
13. Некрасов В.И. Принципы создания семенных плантаций интродуцированных древесных пород//Лесное хозяйство, 1978. - № 2.- С.64-66
14. Некрасов В.И. Актуальные вопросы развития теории акклиматизации растений / М.: Наука, 1980.- 102с.
15. Третьяков Н.В. Справочник таксатора: Таблицы для таксации леса/ М– Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 854 с.

References

1. Bekh I.A., Taran I.V. The Siberian miracle tree. – Novosibirsk: Nauka, 1979. – 126 c.

2. Grigoriev A.I. Some results of the introduction of Siberian cedar in the southern forest–steppe of the Omsk region// Reproduction of cedar forests in the Urals and Western Siberia/ Sverdlovsk: UNC of the USSR Academy of Sciences, 1981. - 126c.

3. Drozdov I.I. Introduction of Siberian cedar into the European part of the Russian forest zone: Overview. inform./ - M.: Vniitslesresurs, 1999. - 32 p.

4. Drozdov I.I., Yangutov A.I. Methodological recommendations for the study of forest crops of introduced forest species / M.: VASHNIL, 1984. - 41 p.

5. Drozdov I.I. Cultures of coniferous introduced species / M.: MLTI, 1987. – 91 p

. 6. Iroshnikov, A.I. Problems of studying and protecting the gene pool of cedar pines and their breeding. Cedar-deciduous forests of the Far East. Proceedings of the International Conference/ USA, Portland, 2000. - pp. 92-113.

7. Iroshnikov A.I., Tvelenev M.V. Study of the gene pool, introduction and breeding of cedar pines// Forestry, 2001, No. 4. - pp.62-68

8. Levin S.V. Adaptive features of Siberian cedar pine in the conditions of the Voronezh region// In collection: Ecological and biological well-being of flora and fauna. Materials of the International Scientific and Practical Conference/ Blagoveshchensk: DalGAU, 2020. pp. 23-25.

9. Levin S.V. Ecological features of Siberian cedar in the conditions of introduction in the Voronezh region// Forests of Russia: politics, industry, science, education. Materials of the VI All-Russian Scientific and Technical Conference conf./ St. Petersburg: St. Petersburg State Technical University, 2021. Volume 1. - pp.253-256

10.Loskutov, R.I. Artificial restoration of Siberian cedar. Moscow: Forest Industry, 1971. – 105 p.

11.Mamaev, S.A. Intraspecific variability and the problem of woody plant introduction // Successes of plant introduction: Collection of scientific papers dedicated to the 75th anniversary of the birth of Academician N.V. Tsitsin / M.: Nauka, 1973. – pp. 128-140.

12.Nagimov, Z. Ya. Assessment of methods for determining areas growth of trees / Z. Ya. Nagimov // Forests of the Urals and the economy in them / M-in total. and Prof. education of the Russian Federation, Ural State Forestry University. The academy/ Yekaterinburg, 1999, issue 19, pp. 82-98.

13. Nekrasov V.I. Principles of creating seed plantations of introduced tree species//Forestry, 1978. - No. 2.- pp.64-66

14.Nekrasov V.I. Actual issues of the development of the theory of plant acclimatization / M.: Nauka, 1980.- 102s.

15. Tretyakov N.V. Taxator's handbook: Tables for forest taxation / M.– L.: Goslesbumizdat, 1952. – 854 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_442-448
УДК 630 105.52: 630 181.28:582.475.4

АНАЛИЗ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОРЫ ПСЕВДОТСУГИ МЕНЗИСА, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЕЕ ИНТРОДУКЦИЕЙ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

И.С. Левин [1], С.В. Левин [2]

[1]- аспирант кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
[2] – к. с.-х. н., научный сотрудник отдела опытных испытаний,
Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, г. Воронеж, Россия

Аннотация. Внешний вид и рельеф поверхности коры поражают своим многообразием, которое определяется как видовыми особенностями, так и возрастом растения, а также условиями его произрастания. Учитывая, что корреляция между архитектурой коры и ее отношением к экологическим стрессам остается преимущественно неисследованной, прослежено распределение деревьев псевдотсуги Мензиса с учетом типа коры в одновозрастном насаждении при ее адаптации в условиях лесостепи Воронежской области. Установлено, что уже с 40-45 лет у псевдотсуги, когда различия в коре становятся хорошо заметными, можно эффективно проводить мероприятия по уходу за лесом и собирать семена с целью селекционного отбора для искусственного разведения, ориентируясь на этот признак. В рубки ухода следует назначать деревья с трещиноватым типом коры, исключая их из перспективного семенного фонда.

Ключевые слова: псевдотсуга Мензиса, тип коры, адаптация, культуры, таксационные признаки, интродукция

ANALYSIS OF PHENOTYPIC CHARACTERISTICS OF DOUGLAS FIR BARK CAUSED BY ITS INTRODUCTION IN THE VORONEZH REGION

I.S. Levin [1], S.V. Levin [2]

[1] - Postgraduate student of the Department of Forest Cultures, Breeding and Forest Reclamation, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
[2] – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher of the Department of Experimental Trials,
All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Voronezh, Russia

Abstract. The appearance and surface relief of bark impress with their diversity, determined by species characteristics, plant age, and growing conditions. Considering that the correlation between bark architecture and its response to ecological stresses remains largely unexplored, the distribution of Douglas fir trees was traced based on bark type in a uniform-age stand in the forest-steppe of the Voronezh region. It was established that already at 40-45 years, when differences in bark become noticeable, effective forest management activities can be conducted, and seeds can be collected for selective breeding based on this trait. Trees with cracked bark type should be designated for thinning, excluding them from the prospective seed fund.

© Левин И. С., Левин С. В., 2025

Keywords: Pseudotsuga menziesii, bark type, adaptation, culture, taxonomic traits, introduction

Введение

Благодаря своему интенсивному росту и ценной древесине, псевдотсуга Мензиса, или дугласия (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) давно и успешно культивируется за пределами своего естественного ареала. Искусственные насаждения этой породы в этих регионах отличаются весьма высокой производительностью [11].

По своей уникальности свойств, как природного материала, древесная кора открывает широкие перспективы ее использования в различных сферах нашей деятельности: медицине, энергетике, сельском хозяйстве, при производстве плит, с использованием пробки, химической обработке, очистке воды и газа, при производстве пластмасс и наполнителей, изготовлении одежды и посуды [6]. Сочетание сложного химического состава, множества вторичных метаболитов и благоприятных физико-механических свойств позволяет находить новые пути ее применения и существенно обогащать рынок разнообразными продуктами.

Кора – это динамичный орган растения, выполняющий множество жизненно важных функций, причем ее характеристики меняются по мере взросления. Внешний вид и рельеф поверхности коры поражают своим многообразием, которое определяется как видовыми особенностями, так и возрастом растения, а также условиями его произрастания. Эти вариации могут проявляются на разных участках одного и того же дерева. По своему объему кора составляет от 5 до 28% от общей массы растения [6]. Структурная целостность коры в процессе тангенциального расширения, а также наличие или отсутствие специализированных разделительных слоев, обеспечивающих периодическое отторжение наружных частей, играют решающую роль в формировании ее внешнего облика. Эти критерии позволяют классифицировать кору на четыре основных морфологических типа: растянутая, отшелушивающаяся, бороздчатая, отслаивающаяся кора и их комбинации.

Два типа коры, а именно, растягивающаяся и отшелушивающаяся, демонстрируют схожую способность к значительному расширению без нарушения целостности поверхности. Это расширение часто сопровождается появлением чечевичек и глазоподобных отметин. Внешне растянутая кора гладкая, в отличие от отшелушивающейся, которая несет на себе рубцы от опавших чешуек. Структурно оба типа коры имеют общую тонкую перидерму или ритидом, под которыми располагается непрерывный паренхиматозный слой (псевдокортекс или пролиферирующая ткань) или/и участки тонкостенных клеток, возникающие в результате деятельности расширяющихся меристем. Ключевое различие между ними заключается в наличии у отшелушивающейся коры поверхностных разделительных слоев, состоящих из тонкостенных клеток феллема [12].

В отличие от коры двух других типов, бороздчатая кора при расширении демонстрирует на поверхности отчетливые продольные трещины, обычно лишенные чечевичек и глазовидных образований. Бороздчатая кора не имеет разделительных слоев и состоит в основном из прочного, устойчивого ритидома, под которым отсутствует паренхиматозный слой. Отличительной чертой отслаивающейся коры является заметное отшелушивание ее внешних частей, при этом ритидом у нее относительно тонкий. В этом случае перидерма может выполнять функцию разделительных слоев, а непроводящая флоэма (включая разрушенные слои, если они присутствуют), остающаяся после удаления перидермы, берет на себя защитную функцию [12]. Тем не менее, у некоторых видов отслаивающейся коры наблюдается иное распределение функций: перидерма отвечает за защиту, а непроводящая флоэма – за отделение слоев.

Детальное понимание анатомических механизмов, лежащих в основе растяжения коры без деструкции поверхности, и закономерностей распределения защитных и отделительных ее структур различных таксонов растений остается ограниченным, в том числе и у псевдотсуги Мензиса, как в целом, так и с учетом ее разновидностей. При этом экологическая значимость таких фенотипических признаков коры, как пигментация, фотосинтетическая функция и плотность, также изучена в недостаточной степени. Биомеханика коры является областью, где

существует значительный пробел в знаниях. Неясно, является ли наблюдаемая дилатация коры результатом механических напряжений или же представляет собой гормонально опосредованную реакцию. Данный вопрос требует междисциплинарного подхода и проведения высокоточных измерений [9,10,12].

Учитывая, что корреляция между архитектурой коры и ее отношением к экологическим стрессам остается преимущественно неисследованной, целесообразно проследить распределение деревьев псевдотсуги Мензиса с учетом типа коры в одновозрастном насаждении при ее адаптации в условиях лесостепи Воронежской области.

Материалы и методы исследований

Настоящие исследования проводились на территории Семилукского коллекционно-маточного дендрария Воронежской области в насаждении псевдотсуги Мензиса квартала № 8б возрастом 57 лет с его назначением в качестве культур I класса бонитета, созданных из семенного фонда из Липецкой области (Лесостепной опытно-селекционной станции) на площади 0,076га.

Исходная густота культур при размещении 2,5х2,5м составляла 1600шт./ га. На момент исследования густота составляет 925 шт./ га при сохранности 57,8%. При абсолютной полноте 70,1 $м^2$/га запас насаждения составил 698 $м^3$/га, которые оказались очень высокими на территории интродукции по Воронежской области [5]. Высокая жизнеспособность псевдотсуги Мензиса проявляется в ее способности к размножению и адаптации потомства к изменяющимся условиям окружающей среды. Наблюдаемое естественное возобновление подтверждает это.

В ходе исследований оценивались высота деревьев и диаметр ствола на высоте груди [1] с учетом морфологического типа по коре и анализом категории санитарного состояния.

Результаты и их обсуждение

Ранее в этом направлении получены результаты исследований культур вида на территории Карпат, где псевдотсуга зеленая (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) обладает хорошим ростом, высокой продуктивностью и устойчивостью [8]. Здесь по строению поверхностного слоя коры в насаждениях выделены 3 формы: широкобороздчатая, среднебороздчатая и узкобороздчатая. Различия между формами псевдотсуги проявляются в следующих внешних морфологических характеристиках. У широкобороздчатой разновидности крона имеет форму узкого конуса, образованного множеством относительно тонких ветвей. Стволы таких деревьев сужаются кверху, что обусловлено толстой корой в нижней части. Деревья со среднебороздчатой корой обладают более классической конической кроной, с нижними ветвями, которые толще и отходят дальше от ствола. Их стволы более полные и лучше освобождаются от нижних сучьев. Особи с узкобороздчатой корой демонстрируют наилучшее естественное очищение от сучьев и наименьшую степень закомелистости, но при этом их продуктивность несколько ниже по сравнению с двумя предыдущими формами.

О форме ствола дерева, которая играет важную роль в успешном выращивании псевдотсуги, определяя качество древесины и способность к самоочищению от сучьев, говорится и в других работах [2,3,7]. Деревья с грубой или среднебороздчатой корой обычно хуже очищаются от сучьев и имеют более выраженную конусность ствола по сравнению с деревьями с гладкой корой. Однако, во всех случаях не было выявлено прямой связи между характеристиками коры (толщиной и формой) и общей продуктивностью псевдотсуги.

Также была изучена интенсивность роста разных форм вида Pseudotsuga menziesii Mirb. (Franco) по строению коры в культурах 45- и 103-летнего возраста [4]. Установлены очень похожие показатели объема среднего дерева у всех исследованных форм породы. Высота деревьев составила 28,4-39,8 м, диаметр 34,4-56,6 см при густоте 292-412 шт./га, запас стволовой древесины - 549-1489 $м^3$/га. Все оговоренные результаты указывают на специфику развития деревьев в насаждениях и лишний раз подчеркивают необходимость выявления

лучших деревьев породы в условиях лесостепи Воронежской области с учетом феномена коры.

В исследуемом насаждении псевдотсуги Мензиса было выделено 3 морфологических типа коры (феномена): трещиноватый, глубокотрещиноватый и пробковый. На диаграмме приведено процентное соотношение количества стволов по феномену коры (рис.1).

Рис.1 - Процентное соотношение по феномену (типу) коры в насаждении

Как видно на рис.1 наиболее многочисленной оказалась группа деревьев с трещиноватым типом коры (43%), а самой малочисленной – с пробковым (23%).

Наблюдаемые типы по коре можно охарактеризовать следующим образом:

- трещиноватый, который характеризуется ранним образованием и преобладанием в составе коры корки (рис.2а). При слабо изменяющемся слое живой флоэмы равным 5- 6 мм, общая толщина коры за счет развития корки увеличивается до 1,5- 2 см. Корка растрескивается не глубокими продольными и поперечными бороздами. Высота поднятия корки до 4 м. Форма кроны пирамидальная. Ветви толстые, крона плотная. Побеги желто-бурые, охвоение густое. Хвоя длиной 2-2,5 см, сверху светло-зеленая, снизу бледно-сизая. Менее продуктивный тип (табл.1). Преобладает в насаждении. Слабо подвержен снеголому.

а) б) в)

Рис.2 - Феномены (типы) коры: трещиноватый-а; бороздчатый- б; пробковый- в

- глубокотрещиноватый (бороздчатый) тип отличается от предыдущего мощным развитием корки, в составе которой преобладают пробка повторных перидерм до 3 -4 см (рис.2б). Корка растрескивается 2-3 см продольными трещинами. Стенки трещин светло-коричневые. По характеру кроны, побегам и хвое сходен с трещиноватым типом. Наиболее продуктивный (табл.1).

- пробковый, как особый, наиболее отличный от других по развитию ритидома тип в насаждении встречается реже (рис.2в). При надавливании на кору она пружинит. Корка растрескивается продольными трещинами. Уступает по продуктивности бороздчатому типу (табл.1). Представляет значительный интерес для селекции в целях создания специализированных промышленных плантаций для регулярных заготовок пробки в целях ее промышленного использования и химической переработки. Здесь стоит отметить, что исходя из зарубежного опыта, съем пробки может осуществляться с растущего дерева без нанесения ему ущерба [10, 12]. При этом можно снимать до 90% общей толщины коры.

В результате полученных результатов коэффициентов изменчивости в насаждении: диметра ствола – 26,8% и высоты дерева – 14,8%, можно утверждать об однородности показателей, т.к. коэффициент вариации признака не превышает 33%.Также средняя изменчивость высот деревьев косвенно указывает на незавершенность процесса дифференциации в насаждении.

Таблица 1. Таксационные показатели по группам деревьев с учетом типа коры

Феномен (тип) коры	Высота дерева (H, м)	Диаметр ствола (Д,см)	Объем ствола (V, м³)	Категория санитарного состояния
Бороздчатый	21,73±2,33	35,51±7,42	1,07±0,49	1,33±0,64
Пробковый	20,44±3,03	30,53±7,56	0,75±0,37	1,63±0,20
Трещиноватый	19,47±3,24	25,37±5,75	0,51±0,25	1,50±0,73
Средние значения	20,46±3,04	30,03±8,04	0,76±0,44	1,47±0,77

На основании результатов по таксационным показателям на рисунке 3 наблюдаем, что наименее продуктивными оказались деревья с трещиноватой корой, которые уступают деревьям с иными типами коры. Деревья с пробковым типом коры занимают центральное положение, приравниваясь к средним показателям всего насаждения.

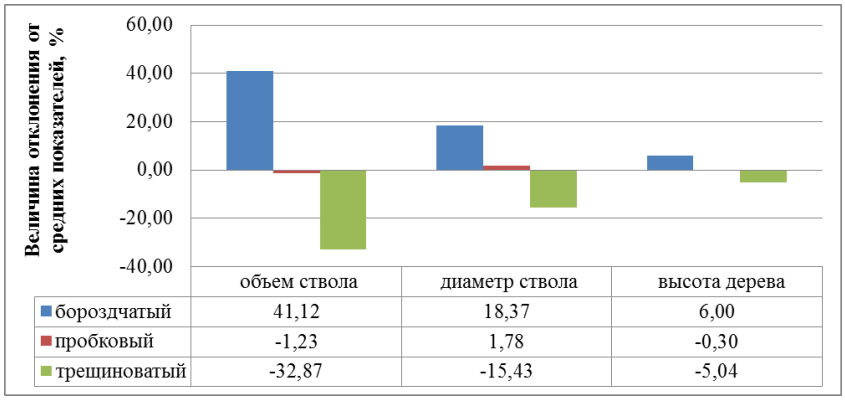


Рис.3 – Отклонения таксационных показателей в группах деревьев с учетом их типа коры от средних значений насаждения

Подтверждением успешного развития деревьев с бороздчатым типом коры, наряду с их ростом, следует считать категорию санитарного состояния (1,33).

Заключение

В результате установлено, что благодаря различиям деревьев породы по типу коры, лесоводы могут эффективно проводить мероприятия по уходу за лесом и собирать семена с целью селекционного отбора для искусственного разведения, ориентируясь на этот признак. Это становится возможным уже с 40-45 лет, когда различия в коре становятся хорошо заметными. В рубки ухода следует назначать деревья с трещиноватым типом коры, исключая их из перспективного семенного фонда. Деревья с пробковым типом коры могут представлять значительный интерес для селекции в целях создания специализированных промышленных плантаций для регулярных заготовок пробки с последующим ее промышленным использованием и химической переработкой.

Список литературы

1. Анучин, Н. П. Сортиментные и товарные таблицы. 7–е изд., перераб. и доп./ Н. П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1981. –536 с.

2. Бродович Т.М. Акклиматизация и адаптация дугласии тиссолистной в лесных насаждениях запада УССР/ Т.М. Бродович // Лесной журнал – 1978.- № 4. – С. 33-36.

3. Бродович Т.М. Лжетсуга (дугласия) в лесных насаждениях УССР/ Т.М. Бродович // Лесоводство и агролесомелиорация. – 1969.- Вып. 16. – С. 99-104.

4. Дебринюк, Ю. М. Производительность Pseudotsuga menziesii Mirb. (Franco) в связи с формами вида по строению коры / Ю. М. Дебринюк // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. – 2008. – Т. XI. – С. 23-26.

5. Левин И. С. Оценка развития псевдотсуги Мензиса (Pseudotsuga Menziesii (Mirb.) Franco) в условиях лесостепного района европейской части России/ И. С. Левин// Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. –2024. – № 2(78). –С. 73-81. URL: https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_2_73-81.

6. Пастори З. Состояние и перспективы использования древесной коры/З. Пастори, Г.А. Горбачева, В.Г. Санаев, И.Р. Мохачине, З. Борчок // Лесной вестник / Forestry Bulletin - 2020. -Т. 24. -№ 5.- С. 74–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

7. Смаглюк К.К. К вопросу о высотно-экологическом диапазоне лжетсуги тиссолистной на северных мегасклонах Украинских Карпат/ К.К. Смаглюк // Лесоводство и агролесомелиорация. – 1971. – Вып.25. – С. 21-26.

8. Шляхта Я.М. Формы дугласии зеленой по строению коры в Карпатах/ Я.М. Шляхта // Лесное хозяйство.- 1982. - № 6. - С.40-41.

9. Cardoso. S., Quilhó T. , Pereira H.. 2019. Influence of cambial age on the bark structure of Douglas-fir. Wood Science and Technology, 53(1). DOI:10.1007/s00226-018-1055-5

10. Rosell, J.A. Bark in woody plants: Understanding the diversity of a multifunctional structure. Integr. Comp. Biol. 2019, 59, 535–547.

11. Ruge F., Nicke A., Kohnle U. Douglasien–Naturverjüngung unter Schirm. AFZ–Der Wald. 2019. №17. S. 42-46. URL: https://www.waldwissen.net/en/forestry/ silviculture/forest-regeneration/douglasien-naturverjuengung-kein-sicherer-stand-bei-konkurrenz-und-ueberschirmung

12. Shtein, I.; Gricar, J.;Lev-Yadun, S.; Oskolski, A.; Pace, M.R.; Rosell, J.A.; Crivellaro, A. Priorities for Bark Anatomical Research: Study Venues and Open Questions. Plants 2023, 12, 1985. https://doi.org/10.3390/ plants12101985

References

1. Anuchin, N. P. Sorting and commodity tables. 7th ed., revised and additional/ N. P. Anuchin.–M.:ForestIndustry,1981.-536p

2. Brodovich T.M. Acclimatization and adaptation of thyssolistous douglasia in forest plantations of the west of the Ukrainian SSR/ T. M. Brodovich // Forest Journal – 1978.- No. 4. – Pp.33-36.

3. Brodovich T.M. Lizhetsuga (douglasia) in the forest plantations of the Ukrainian SSR/ T.M. Brodovich // Forestry and agroforestry. – 1969.- Vol. 16. Pp. 99-104.

4. Debrinyuk, Yu. M. Productivity of Pseudotsuga menziesii Mirb. (Franco) in connection with the forms of the species according to the structure of the bark / Yu. M. Debrinyuk // Fruit growing, seed production, introduction of woody plants. – 2008. – Vol. XI. – Pp. 23-26.

5. Levin I. S. Assessment of the development of Pseudotsuga Menziesii (Mirb.) Franco in the conditions of the forest-steppe region of the European part Russia/ I. S. Levin// Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. -2024. – № 2(78). – Pp. 73-81. URL: https://doi.org/10.48012/ 1817-5457_2024_2_73-81

6. Pastory Z. The state and prospects of using tree bark. Pastory, G.A. Gorbacheva, V.G. Sanaev, I.R. Mokhachine, Z. Borchok // Forest Bulletin / Forestry Bulletin - 2020. -Vol. 24. -No. 5. - pp.74-88.DOI:10.18698/2542-1468-2020-5-74-88

7. Smaglyuk K.K. On the question of the altitude and ecological range of the thyssolistous false grass on the northern megasclones of the Ukrainian Carpathians/ K.K. Smaglyuk // Forestry andagroforestry.–1971.–Issue25.–pp.21-26.

8. Shlyakhta Ya.M. The forms of the green douglas according to the structure of the bark in the Carpathians/ Ya.M. Shlyakhta // Forestry.- 1982. - No. 6. - pp.40-41.

9. Cardoso. S., Quilhó T. , Pereira H.. 2019. Influence of cambial age on the bark structure of Douglas-fir. Wood Science and Technology, 53(1). DOI:10.1007/s00226-018-1055-5

10. Rosell, J.A. Bark in woody plants: Understanding the diversity of a multifunctional structure. Integr. Comp. Biol. 2019, 59, 535–547.

11. Ruge F., Nicke A., Kohnle U. Douglasien–Naturverjüngung unter Schirm. AFZ–Der Wald. 2019. №17. S. 42-46. URL: https://www.waldwissen.net/en/forestry/ silviculture/forest-regeneration/douglasien-naturverjuengung-kein-sicherer-stand-bei-konkurrenz-und-ueberschirmung

12. Shtein, I.; Gricar, J.;Lev-Yadun, S.; Oskolski, A.; Pace, M.R.; Rosell, J.A.; Crivellaro, A. Priorities for Bark Anatomical Research: Study Venues and Open Questions. Plants 2023, 12, 1985. https://doi.org/10.3390/ plants12101985

DOI: 10.58168/Forestry2025_449-454
УДК 630 232

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ ХРЕНОВСКОГО БОРА

М.А. Пивоваров
аспирант кафедры ботаники и дендрологии ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», Воронеж, Россия
А.Н. Цепляев
профессор кафедры ботаники и дендрологии, доктор сельскохозяйственных наук
ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Аннотация: В исследовании географической изменчивости сосны обыкновенной проведен комплексный анализ влияния географического происхождения посадочного материала на показатели приживаемости, сохранности, санитарное состояние, селекционную ценность и ростовые характеристики древостоев сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) в условиях интродукции в Воронежской области. На основе многолетнего мониторинга 453 деревьев, представляющих 20 географических популяций, выявлена существенная экологическая пластичность вида и установлена зависимость успешности адаптации от степени соответствия почвенно-климатических условий региона происхождения и региона интродукции.

Полученные данные имеют практическую значимость для разработки научно обоснованных рекомендаций по лесовосстановлению в Центральном Черноземье и могут быть использованы при планировании лесосеменных районов и создании постоянной лесосеменной базы.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, географические культуры, интродукция, приживаемость, селекционная ценность, рост растений, адаптационный потенциал, Воронежская область, лесная селекция.

STUDY OF GEOGRAPHICAL VARIABILITY OF SCOTS PINE IN TEST CROPS OF HORSERADISH FOREST

Pivovarov M.A.
postgraduate student
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
Tseplyaev A.N.
department of Botany and Dendrology, Doctor of Agricultural Sciences, Voronezh State
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract: This study provides a comprehensive analysis of the impact of the geographical origin of the planting material on the survival rates, sanitary condition, breeding value and growth characteristics of stands of Scots pine (Pinus sylvestris L.) under the conditions of introduction in the Voronezh region. Based on long-term monitoring of 453 trees representing 20 geographical populations, significant ecological plasticity of the species was revealed and the dependence of the success of adaptation on the degree of compliance of the soil and climatic conditions of the region of origin and the region of introduction was established.

© Пивоваров М. А., Цепляев А. Н., 2025

The data obtained are of practical importance for the development of scientifically sound recommendations for reforestation in the Central Chernozem region and can be used in the planning of forest-seed areas and the creation of a permanent forest-seed base.

Keywords: common pine, geographical crops, introduction, survivability, breeding value, plant growth, adaptive potential, Voronezh region, forest breeding.

Введение

Устойчивость лесных экосистем и продуктивность древостоев в условиях интродукции определяются комплексом факторов, среди которых ключевое значение имеет географическое происхождение посадочного материала и его адаптационный потенциал к новым почвенно-климатическим условиям [2]. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки и изменения климата проблема подбора оптимального посадочного материала для лесовосстановления становится особенно актуальной [4].

Актуальность изучения географических культур и популяционной структуры сосны обусловлена также необходимостью разработки научно обоснованных рекомендаций для лесного хозяйства [6, 7]. Сохранение генетического разнообразия популяций, оптимизация лесовосстановления и селекционных программ являются ключевыми задачами для обеспечения устойчивого управления лесными ресурсами [1, 3]. В данном исследовании анализируются данные по приживаемости, санитарном состоянии, селекционной ценности и высотного прироста древостоев сосны обыкновенной (Pinus sylvestris) различного географического происхождения, выращенных из посадочного материала первого и второго бонитета в условиях Хреновского бора Воронежской области.

Объекты и методика

Географические культуры сосны обыкновенной в Хреновском лесничестве (кв. 515) были заложены в 1964-1965 гг. по инициативе и под руководством лесничего Д. Г. Дынина. Площадь участка составляет 0,68 га. Семенной материал для закладки культур был получен от д. б. н. А. В. Альбенского и воспитанников Хреновского лесхоза-техникума. Исходные материалы для данного исследования были предоставлены лично Д. Г. Дыниным, они включали: схему размещения климатипов, историческую справку, сведения о приживаемости, сохранности в период 1965-1988 гг. Исследование географической изменчивости сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) в данном исследовании базируется на таксационном методологическом подходе.

Таксационные исследования включали проведение сплошного перечета деревьев с измерением высоты, отбор модельных экземпляров для детального анализа ростовых характеристик, а также применение статистических методов (определение средней выоты, ошибки средней, оценка достоверности различий средних независимых выборок по t-критерию (Стьюдента) для установления достоверности различий между высотой различных климатипов.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ данных полученных Д.Г. Дыниным (1964 г.) и в результате наших исследований (2025 г) выявил значительную вариабельность показателей приживаемости, санитарного состояния, селекционной ценности и динамики роста по высоте древостоев в зависимости от их географического происхождения. Общее количество учтенных деревьев составило 453 единицы, представляющих 20 различных географических популяций, что обеспечивает репрезентативность полученных результатов [3].

Данные по приживаемости на 1965 г. демонстрируют выраженную зависимость от происхождения посадочного материала. Наибольшие показатели приживаемости в первый год после посадки наблюдаются у растений, происходящих из регионов с почвенно-климатическими условиями, близкими к Воронежской области: Ногинск (82% и 78%), Ровно (80% и 78%), Бузулук (78% и 70%), Гомель (76% и 76%) и Брест (75% и 73%). Стабильно высокие показатели приживаемости у данных популяций свидетельствуют об их успешной адаптации к эдафическим и климатическим условиям региона интродукции.

Напротив, сеянцы, полученные из семян, заготовленных в популяциях сформированных климатических условиями (Алдан, Крым) значительно отличающихся от Воронежской области, показали критически низкую адаптацию: алданские растения сохранили приживаемость на уровне 36%, а крымские показали резкое падение с 44% на первый год до 10% на второй. Столь значительное снижение показателей свидетельствует о глубоком экологическом несоответствии условий происхождения и интродукции. Особый интерес представляют случаи успешной адаптации после дополнительных лесоводственных мероприятий у материалов из Хренового (с 36 % до 73 %), Свердловска (с 68 % до 71 %) и Алтая (с 58 % до 72 %), что указывает на возможность улучшения состояния насаждений при своевременных агротехнических мероприятиях.

Анализ санитарного состояния на 2025 г. показал, что наилучшие показатели демонстрируют растения из регионов, экологические условия которых наиболее близки к условиям Воронежской области. Так, зафиксировано количество деревьев с нормальным состоянием: гомельские (81,3 %), брестские (64,7 %) и ровенские (76 %). Высокий процент деревьев с нормальным санитарным состоянием коррелирует с показателями приживаемости, подтверждая общую закономерность лучшей адаптации материалов из экологически близких регионов.

Оценка селекционной ценности на 2025 г. выявила аналогичную тенденцию. Высокая доля деревьев с нормальной и лучшей селекционной ценностью характерен для экотипов Беларуси и Центральной России: Брест - 87,2 %, Гомель 93,9 -%, Рязань – 84 %. В то же время климатипы, удаленные от Хреновского бора в восточном направлении показали повышенную долю минусовых деревьев: Новосибирский - 45,8 %, Кемеровский - 37,5 %, Тюменский - 50 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что селекционная ценность тесно связана с экологическим соответствием региона происхождения и региона интродукции.

Показатель высоты растения служит интегральным индикатором его общего состояния, успешности адаптации и потенциала выживания в новых условиях. Анализ многолетних наблюдений (1988-1997 гг.) проводимых Д.Г. Дыниным и А.Н. Цепляевым, а также наши данные 2025 года показывает выраженную зависимость скорости роста от географического происхождения посадочного материала.

Наблюдается значительный разброс показателей высоты деревьев (Рисунок 1).: от 6,7 м (Коми, 1988 г.) до 18,3 м (Брест, 1997 г.). К 2025 году высота варьирует от 20,93 м (Якутия, Кемерово) до 23,82 м (Гомель), что демонстрирует существенные различия в продуктивности различных популяций.

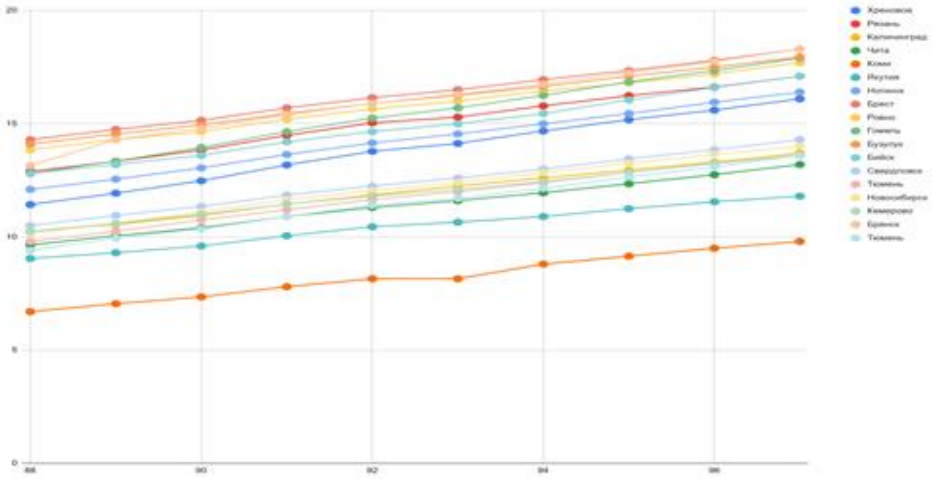


Рисунок 1 – Влияние географического происхождения семян сосны обыкновенной на ход роста в высоту в условиях Хреновского бора (Данные Д.Г.Дынина, А.Н.Цепляева)

Как видно из данных диаграммы (Рисунок 2), лучшие показатели роста демонстрируют экотипы из регионов с почвенно-климатическими условиями, сходными с условиями Воронежской области. Высота сосны местного Хреновскго экотипа, генетически и

фенотипически максимально адаптированного к условиям лесокультурной площади составляет - 22,98±0,5 м. Растения из Гомеля (Беларусь) достигают высоты 23,82±0,7 м к 2025 году благодаря оптимальной экологической пластичности и близким условиям региона происхождения. Бузулукский экотип имея близкие к Хреновскому показатели средней высоты - 22,91±0,4 м, демонстрирует успешную адаптацию благодаря континентальному климату региона происхождения, сходному с воронежским.

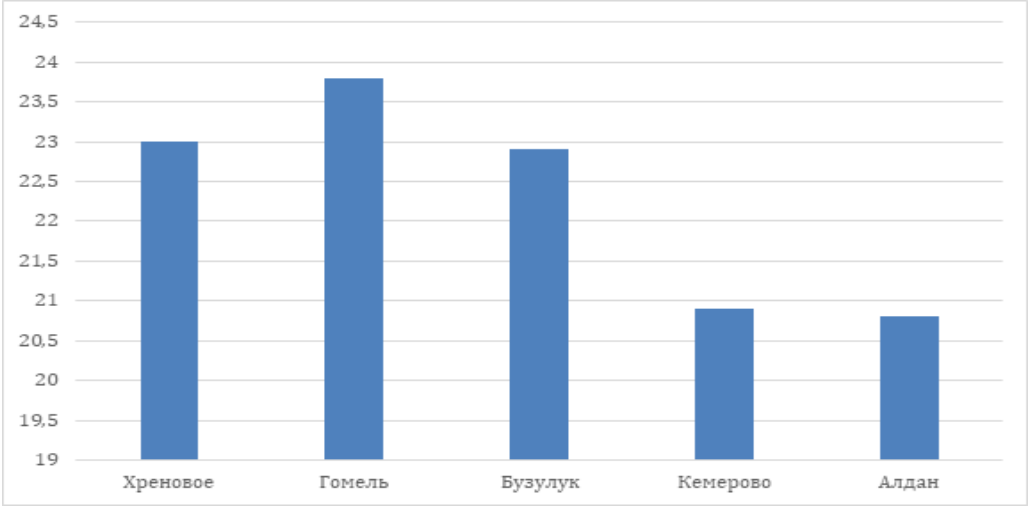


Рисунок 2 – Средние показатели высоты по контрастным экотипам на 2025г.

В противоположность этому, худшие показатели роста характерны для растений из регионов с низкими среднегодовыми температурами. Популяции из Кемерово и Якутии в 2025 году демонстрируют высоту 20,93±0,3м и 20,93±0,4 м соответственно. Медленный рост кемеровских растений обусловлен резко континентальным климатом региона происхождения и фотопериодической дезадаптацией. Якутские растения демонстрируют полную экологическую несовместимость с условиями Воронежской области, что проявляется в значительном отставании в росте. Расчет критерия Стьюдента демонстрирует достоверные отличия между высоко продуктивными и низкопродуктивными климатипами (таблица 1). Так

Таблица 1 - Расчетные значения t-критерия Стьюдента для средних значений высоты исследуемых климатипов

Климатипы	Хреновое	Гомель	Бузулук	Кемерово	Алдан
Хреновое	-	0,31	0,19	3,4	3,7
Гомель	0,31	-	0,2	2,5	3
Бузулук	0,19	0,19	-	4,3	4,1
Кемерово	3,4	2,5	4,3	-	1,3
Алдан	3,7	3	4,1	1,3	-

Превышение расчетного над табличными критическими значениями t-критерия Стьюдента (2,01)

Проведенный сравнительный анализ популяций на основе данных таблицы 1 позволяет выявить статистически значимые различия в их ростовых характеристиках в условиях интродукции. Основным методом верификации гипотезы о равенстве средних значений послужил t-критерий Стьюдента.

Ключевым результатом анализа является стратификация исследуемых климатипов на две статистически обособленные группы:

Группа географически и климатически близких популяций (Хреновое, Гомель, Бузулук). Парные сравнения между этими пунктами происхождения демонстрируют значения t-критерия в диапазоне от 0,19 до 0,31, что существенно ниже порогового критического значения (2,01). Это указывает на отсутствие статистически значимых различий в скорости роста между данными популяциями, что, в свою очередь, позволяет сделать вывод об их сходной экологической приспособленности к условиям места исследования или о схожем уровне их продуктивности в целом.

Группа популяций, контрастирующих с первой (Кемерово, Алдан). Сравнение этих климатипов как между собой (t = 1,3), так и, что наиболее важно, с популяциями первой группы, выявило фундаментальные различия. Все значения t-критерия в парных сравнениях «Кемерово/Алдан» против «Хреновое/Гомель/Бузулук» являются статистически значимыми, превышая критическое значение 2,01 и достигая величин от 2,5 до 4,3. Наибольшая дивергенция наблюдается между популяциями Бузулук и Кемерово (t = 4,3). Данный факт свидетельствует о высокой степени достоверности различий в адаптивном потенциале и ростовых процессах между этими группами.

Количественным выражением выявленных статистических различий является разница в росте к 61-летнему возрасту между лучшими и худшими климатипами, которая достигает 2,89 метра. Эта величина не только подтверждает статистическую значимость, но и подчеркивает высокую практическую релевантность правильного выбора географического происхождения посадочного материала.

Выводы

1. Проведенный анализ подтвердил, что использование посадочного материала без учета экологического соответствия региона происхождения и региона интродукции может привести к значительному снижению продуктивности и устойчивости лесных насаждений. Показатели приживаемости, санитарного состояния и селекционной ценности демонстрируют выраженную зависимость от географического происхождения посадочного материала
2. Наибольшая эффективность лесовосстановления достигается при использовании семян из регионов со сходными почвенно-климатическими условиями. Разница в росте по высоте между лучшими и худшими популяциями может достигать 2,89 метра к 61-летнему возрасту. Растения из регионов с экстремальными условиями показывают критически низкие показатели адаптации
3. Для повышения эффективности лесовосстановительных работ в Воронежской области рекомендуется использовать посадочный материал из регионов со сходными почвенно-климатическими условиями, прошедший предварительную селекционную оценку и тестирование на адаптационный потенциал. Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение молекулярно-генетических основ адаптации различных популяций сосны обыкновенной к условиям Центрального Черноземья.

Таким образом, полученные результаты, подчеркивают, что успешность интродукции находится в прямой зависимости от двух ключевых факторов: генотипически обусловленной экологической пластичности самих популяций, определяющей их способность адаптироваться к новым условиям, а также степени экологического соответствия между условиями места происхождения семенного материала и условиями места интродукции. Полученные результаты имеют важное прикладное значение для лесохозяйственной практики, обосновывая необходимость проведения предварительного географического испытания и строгого соблюдения принципов селекционно-семеного районирования для обеспечения максимальной продуктивности и устойчивости искусственных насаждений.

Список литературы

1. Вересин М.М. Географические культуры хвойных пород / М.М. Вересин, Н.С. Нестеров. — М.: Гослесбумиздат, 1962. — 258 с.

2. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных пород (на примере семейства Pinaceae на Урале) / С.А. Мамаев. — М.: Наука, 1972. — 284 с.

3. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л.Ф. Правдин. — М.: Наука, 1964. — 191 с.

4. Царёв А.П. Селекция и сортовое семеноводство хвойных пород / А.П. Царёв, С.П. Погиба, В.В. Тренин. — М.: Изд-во МГУЛ, 2001. — 254 с.

5. Цепляев А.Н. Хемотипическая изменчивость и микропопуляционная структура коренных сосняков Хреновского бора и ее значение для лесовосстановления / А.Н. Цепляев, Э.И. Трещевская // Вестник ВГЛТУ. — 2018. — Т. 18, № 2. — С. 25-34.

6. Чернышов М.П. Географические лесные культуры сосны обыкновенной в Центральном Черноземье / М.П. Чернышов, М.И. Михайлова // Лесной вестник. — 2015. — № 4. — С. 45-52.

7. Чернышов М.П. Географические лесные культуры сосны обыкновенной в Центральном Черноземье / М.П. Чернышов, М.И. Михайлова. — Воронеж: ВГЛТУ, 2024. — 196 с.

References

1. Veresin M.M. Geographical cultures of coniferous species / M.M. Veresin, N.S. Nesterov. — M.: Goslesbumizdat, 1962. — 258 p.

2. Mamaev S.A. Forms of intraspecific variability of tree species (on the example of the Pinaceae family in the Urals) / S.A. Mamaev. — M.: Nauka, 1972. — 284 p.

3. Pravdin L.F. The common pine. Variability, intraspecific taxonomy and breeding / L.F. Pravdin, Moscow: Nauka Publ., 1964— 191 p.

4. Tsarev A.P. Breeding and varietal seed production of coniferous species / A.P. Tsarev, S.P. Pereba, V.V. Trenin. Moscow: MGUL Publishing House, 2001. — 254 p.

5. Tseplyaev, E.I. Treshchevskaya // Herald of VGLTU. — 2018. — Vol. 18, No. 2. — pp. 25-34.

6. Chernyshov M.P. Geographical forest cultures of the common pine in the Central Chernozem region / M.P. Chernyshov, M.I. Mikhailova // Lesnoy vestnik. - 2015. — No. 4. — pp. 45-52.

7. Chernyshov M.P. Geographic forest cultures of Scots pine in the Central Black Earth Region / M.P. Chernyshov, M.I. Mikhailova. – Voronezh: VGLTU, 2024. — 196 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_455-462
УДК 581.143

АНАЛИЗ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ИНТРОДУЦЕНТОВ (Г. ВОРОНЕЖ)

О.С. Рязанцева, А.Н. Цепляев
Научный руководитель – А.Н. Цепляев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ботаники и физиологии растений

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Аннотация.

Статья представляет результаты анализа массы 1000 семян, показателей доброкачественности и всхожести семян ряда древесных видов, выполненного в рамках комплексной оценки эффективности интродукции. Объектами исследования выступали семена представителей рода Яблоня *(Malus)* и Рябина *(Sorbus),* которые происходят из посадочного материала, выращенного в питомниках Бельгии и Германии, и в возрасте 8–10 лет были пересажены в более суровые климатические условия города Воронежа. Сравнение массы 1000 семян показало, что масса 1000 семян *Яблони декоративной (Malus)'Red Sentinel'* и *Рябины шведской (Sorbus intermedia) 'Brouwers'* в 2024 г. ниже аналогичного показателя 2022 г. практически в 2 раза, что, по нашему мнению, связано с влиянием аномальных погодных условий весной 2024 г. Посевные качества семян интродуцированных сортов яблони остаются на низком уровне, что ограничивает их использование для генеративного размножения. Тем не менее, данные виды могут успешно воспроизводиться вегетативным способом, а семенное размножение может рассматриваться как возможный метод получения подвойного материала.

Ключевые слова: интродукция, крупномерные саженцы, масса 1000 семян, всхожесть, доброкачественность.

GERMINATION ANALYSIS OF SEEDS FROM SELECTED INTRODUCED SPECIES (VORONEZH)

O. S. Ryazantseva, A.N. Tsepliaev

Scientific supervisor – A.N. Tsepliaev, DSc (Agriculture), Professor of Departments of Botany and Plant Physiology
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.

The article presents the results of an analysis of the thousand-seed weight, seed quality, and germination capacity of certain woody plant species, conducted as part of a comprehensive evaluation of introduction outcomes. The study focused on seeds from species of the genera Malus and Sorbus, initially cultivated in nurseries in Belgium and Germany, and later transplanted—at the age of 8–10 years—into the harsher climatic conditions of Voronezh. A comparative analysis of the thousand-seed weight revealed that in 2024, the values for Malus 'Red Sentinel' and Sorbus intermedia 'Brouwers' were nearly two times lower than in 2022. This decrease is presumably associated with

© Рязанцева О. С., Цепляев А. Н., 2025

the impact of abnormal weather conditions during the spring of 2024. Seeds of the introduced Malus species exhibited low sowing quality, which limits their effectiveness for generative propagation. Nevertheless, vegetative reproduction remains a viable alternative. Seed propagation of these species, however, may be considered for the production of rootstocks.

Keywords: introduction, large size, weight of 1000 seeds, germination, good quality.

Введение

Зелёные насаждения являются неотъемлемой частью городского ландшафта, создавая комфортную среду. Они имеют важное значение для смягчения и устранения вредных воздействий на окружающую среду, выполняя при этом защитную роль и способствуя улучшению санитарно-гигиенических условий. Ключевым моментом в вопросе озеленения городских территорий является правильный подбор используемых древесных и кустарниковых пород.

Наиболее важную роль зеленые насаждения играют в индустриально развитых городах, к которым относится г. Воронеж. По данным ряда исследований, в городских насаждениях Воронежа используется ограниченный породный состав, а именно, 150 видов древесных растений, из которых подавляющее большинство (84%) представлено местными культурами. Основу древесного состава зелёных насаждений составляет липа мелколистная, на долю которой приходится 24,1% от общего древостоя. Менее значительную, но заметную долю занимают следующие породы: берёза повислая — 12,5%, вяз гладкий — 8,9%, ясень обыкновенный — 7,9%, тополь пирамидальный — 7,5%, тополь чёрный — 7,3%, клён остролистный — 6,8%, клён ясенелистный — 5,1%, сосна обыкновенная — 5,0%, каштан конский — 4,7%, робиния лжеакация — 2,8%, рябина обыкновенная — 2,1%, дуб черешчатый — 1,5%, тополь бальзамический — 1,2% [9, 12].

На первый взгляд может показаться, что местные древесные породы должны лучше приживаться, расти и развиваться в городских условиях по сравнению с интродуцированными видами. Однако длительные наблюдения за их состоянием и динамикой показывают, что по ряду характеристик — особенно по санитарному состоянию и продолжительности жизни — аборигенные деревья часто уступают экзотическим видам, выращенным в парках, скверах, на бульварах и во дворах городов [9]. В этих условиях одним из эффективных подходов к восстановлению экологически устойчивых городских экосистем является внедрение древесных видов, обладающих высокой адаптивной способностью к различным абиотическим и биотическим воздействиям, включая техногенное загрязнение. Такие растения не только выживают в сложных условиях городской среды, но и способны оказывать оздоравливающее влияние на окружающую среду. Именно поэтому интродуцированные древесные виды всё чаще рассматриваются как перспективные элементы для использования в системе городского озеленения [2, 7, 13].

В этом контексте особую значимость приобретает всесторонняя оценка потенциала интродуцированных видов, основанная на обобщении практического опыта их выращивания в условиях городского озеленения. Объективное определение перспективности таких видов возможно лишь при наличии комплексных исследований, охватывающих особенности их роста и развития в новых экологических условиях. При анализе результатов интродукции важно установить степень адаптации растений к изменившимся природно-климатическим факторам, а также оценить сохранение ими ценных биологических признаков и функциональных свойств [10].

Серьёзной проблемой, касающейся состояния городских зелёных насаждений, является преобладание деревьев возрастной категории старше 30 лет. Это указывает на процессы «старения» зелёного фонда и необходимость его поэтапного обновления. Одним из возможных решений данной задачи является использование крупномерных саженцев, способных быстро включаться в структуру городской зелёной инфраструктуры.

Учитывая описанные выше актуальные вопросы, нами проводятся исследования интродуцированных древесных пород, которые изначально выращивались в питомниках Бельгии и Германии, а в возрасте 8–10 лет были адаптированы к более суровому климату Воронежской области путем пересадки.

Целью данного исследования было определение качества семян древесных интродуцированных видов в условиях города Воронеж, а именно, определение массы 1000 семян и выявление всхожести семян изучаемых видов растений.

Объекты и методика исследований

Объектами исследования выступали семена отдельных представителей рода Яблоня *(Malus)* и Рябина *(Sorbus)***.**

Интродукцию можно считать успешной в тех случаях, когда растения сохраняют декоративные качества, успешно адаптируются к местным природным условиям, полноценно проходят все этапы онтогенеза и способны образовывать плоды и семена [11, 13].

В условиях интродукции процессы формирования генеративных органов и созревания семян часто изменяются, поскольку новые экологические условия отличаются от привычных для данного вида. Это может сказываться на качестве семенного материала. В связи с этим важно проводить исследования, направленные на оценку интенсивности цветения, плодоношения и биологических характеристик семян, полученных в новых условиях произрастания. Обильное и стабильное цветение не только повышает декоративную ценность растений, но и свидетельствует о потенциале их семенного размножения, что является важным критерием при оценке успешности интродукции [11].

При оценке семеношения интродуцированных видов наиболее объективными считаются количественные показатели. Они дают возможность сопоставлять семенную продуктивность одного и того же вида в разных районах интродукции и в различные годы. Одним из важных критериев акклиматизации и успешной натурализации вида в новых условиях служит качество вырабатываемых им семян.

При интродукции древесных видов, нехарактерных для местной флоры, часто возникает ограниченность в исходном посадочном и семенном материале. Особенно это касается редких или единичных экземпляров, находящихся за пределами своего естественного ареала. Несмотря на это, в благоприятные по климатическим условиям годы такие растения способны формировать жизнеспособные семена, пригодные для дальнейшего размножения. В подобной ситуации допустим отбор семян по принципу «наиболее качественные из доступных», даже если сбор осуществляется с небольшого числа особей и без строгого соблюдения требований, предъявляемых к маточным деревьям [8].

Одним из ключевых показателей, используемых для оценки качества семенного материала, выступает масса 1000 семян. Данный параметр отражает степень развития семян и тесно связан с их биологической полноценностью. Как правило, более крупные семена имеют больший запас питательных веществ, что способствует лучшему прорастанию и более высокой энергии роста всходов [1].

В рамках исследования была проведена сравнительная оценка массы 1000 семян у ряда интродуцированных древесных видов, собранных в 2024 году. Полученные данные сопоставлялись с аналогичными результатами за 2022 год, а также с опубликованными сведениями о близкородственных или аналогичных видах.

Считается, что процесс акклиматизации интродуцированного растения завершён, если особь переходит в репродуктивную фазу развития и стабильно формирует жизнеспособные семена. Для оценки качества посевного материала использовались стандартизированные методы, описанные в ГОСТ 13056.6–97 «Методы определения всхожести», а также ГОСТ 13056.8–97 «Методы определения доброкачественности» [3, 4].

В практике ступенчатой интродукции результативность акклиматизации оценивается по ряду обобщённых признаков, основными среди которых являются всхожесть, жизнеспособность и доброкачественность семян. Эти показатели позволяют объективно судить о биологической адаптации вида к новым условиям произрастания.

Доброкачественность семян представляет собой процентное отношение количества зрелых, полноценных семян с характерными для данного вида морфологическими признаками, включая окраску зародыша и эндосперма, к общему числу семян в исследуемой пробе [4]. Формирование неполноценных, щуплых или нежизнеспособных семян зачастую обусловлено неблагоприятными условиями опыления и созревания, что, в свою очередь, определяется погодными и климатическими факторами сезона. Следовательно, качество семян может служить надёжным косвенным индикатором уровня приспособленности интродуцированных видов к условиям региона.

Всхожесть, в свою очередь, определяется как способность семян образовывать в заданный срок нормально развитые проростки [3]. Высокий процент всхожести наряду с доброкачественностью указывает на хорошее физиологическое состояние семенного материала и может свидетельствовать о завершении стадии начальной акклиматизации.

Таким образом, комплексная оценка семян — по массе, доброкачественности и всхожести — позволяет сделать выводы не только о пригодности семенного материала для использования, но и о степени адаптации интродуцированных древесных видов к новым экологическим условиям.

Результаты исследования

Анализ полученных данным (табл. 1) продемонстрировал существенные отличия показателя массы 1000 семян 2024 г. по сравнению с 2022 г. Так, например, масса 1000 семян *Яблони декоративной (Malus)'Red Sentinel'* и *Рябины шведской (Sorbus intermedia) 'Brouwers'* в 2024 г. ниже аналогичного показателя практически в 2 раза. По нашему мнению, на снижение данного показателя могли оказать влияние отрицательные температуры в мае 2024 г., высокая температура в летние месяцы, а также низкое количество осадков [15, 16].

Таблица 1 - Итоги оценки цветения и плодоношения некоторых видов, исследуемых интродуцентов

Наименование вида	Масса 1000 шт. семян, г		Масса 1000 шт. семян аналога анализируемого сорта, г	Источник данных и название аналога
	2022 г.	2024 г.		
Яблоня декоративная (Malus) 'Neville Copeman'	-	-	7,2	*Яблоня ягодная (лат. Malus baccata)* [6]
Яблоня ягодная (Malus baccata) 'Street Parade'	18,3	-	7,2	*Яблоня ягодная (лат. Malus baccata)* [6]
Яблоня декоративная (Malus) 'Royaltii'	-	-	7,2	*Яблоня ягодная (лат. Malus baccata)* [6]
Яблоня декоративная (Malus)'Red Sentinel'	9,8	5,2	7,2	*Яблоня ягодная (лат. Malus baccata)* [6]
Рябина шведская (Sorbus intermedia) 'Brouwers'	20,6	10,8	11,5	*Рябина шведская (Sorbus intermedia)* [14]

Аномально высокая температура в марте и апреле 2024 г. вызвала ранее распускание листьев и цветение. Так, например, по данным фенологических наблюдений цветение декоративных яблонь в 2024 г. началось на 1-2 недели раньше, чем в 2023 г. При этом *Яблоня декоративная (Malus) 'Neville Copeman'* и *Яблоня декоративная (Malus) 'Royaltii'* образуют плоды, но не продуцируют семена. Семена *Яблони гибридной (Malus) 'Royaltii', Яблони ягодной (Malus baccata) 'Street Parade'* и *Яблони гибридной (лат. Malus hybridus) 'Neville Copeman'* отсутсвуют.

Нами выполнена оценка всхожести семян при прорастании в грунте *Яблони ягодной* (*Malus baccata 'Street Parade')* урожая 2024 годов, а также *Яблони гибридной* (*Malus hybridus*

'Red Sentinel') 2024 г. Также приведены данные по всхожести и доброкачественности за 2021 и 2022 годы (табл. 2).

Посев семян был осуществлён 15 апреля 2024 года в индивидуальные мини-парники, размещённые в условиях закрытого грунта. В качестве субстрата использовалась смесь универсального торфяного почвогрунта и агроперлита марки М-150 (размер фракций — от 0,16 до 5,0 мм) в пропорции 2:1. Для каждого исследуемого варианта отбиралось по 50 семян. Перед высевом посадочный материал подвергался холодной стратификации, продолжавшейся 70 суток при температуре +2…+5 °С, что способствовало стимуляции прорастания. Учёт всходов проводился визуально, в количественном выражении (в штуках), через 25 дней после появления первых проростков. Полученные данные позволили оценить фактическую всхожесть по каждой выборке. Исключение составили семена *Яблони ягодной* (*Malus baccata 'Street Parade')* 2021 г., семена данного вида подверглись естественной стратификации.

Таблица 2 - Процент доброкачественности и всхожести семян

Наименование вида	Год	Доброкачественность, %	Процент всхожести, %
Яблоня ягодная (Malus baccata 'Street Parade')	2021	97	29,4
	2022	96	4,5
	2024	-	-
Яблоня гибридная (Malus hybridus 'Red Sentinel')	2022	7	3,3
	2024	4	2,4
Рябина шведская (Sorbus intermedia) 'Brouwers'	2022	99	-
	2024	87	-

Анализируя полученные данные в сравнении с литературными источниками, можно отметить, что наблюдается сниженная всхожесть семян у исследуемых интродуцированных видов. В частности, по различным сведениям, показатель всхожести у *Яблони ягодной (Malus baccata)* варьирует в пределах от 75 до 98%. Например, по данным, приведённым в работе А.В. Зарицкого, всхожесть семян данного вида достигает 98% [5], что существенно превышает значения, зафиксированные в ходе настоящего исследования.

Проведённая оценка доброкачественности семян *Яблони гибридной (Malus hybridus) 'Red Sentinel'* выявила крайне низкое содержание полнозернистых экземпляров — пустыми оказались 93% анализируемых семян. Аналогичная оценка для *Рябины шведской (Sorbus intermedia) 'Brouwers'* показала высокий уровень доброкачественности, однако прорастание семян отсутствовало, что может свидетельствовать о внутренней несостоятельности зародышей или наличии физиологического покоя.

Сравнительный анализ массы 1000 семян показал значительное снижение этого показателя у сортов *Яблони гибридной (Malus hybridus) 'Red Sentinel' и Рябины шведской (Sorbus intermedia) 'Brouwers'* в 2024 году по сравнению с 2022 годом — практически в два раза. Такое снижение может указывать на неблагоприятные условия формирования плодов и семян в исследуемом сезоне.

Несмотря на высокую доброкачественность у некоторых образцов, общая всхожесть семян интродуцированных сортов яблони остаётся на низком уровне. Это ограничивает их репродуктивный потенциал при выращивании в условиях данного региона.

Рисунок 1 – Сеянцы *Яблони гибридной (Malus hybridus 'Red Sentinel')* через 3 месяца после посева семян

Согласно наблюдениям, сорта *Яблони ягодной (Malus baccata) 'Street Parade'и Яблони гибридной (Malus hybridus) 'Red Sentinel'* не демонстрируют склонности к образованию корневой поросли, в отличие от типичной формы *Яблони ягодной (Malus baccata),* которая, по данным А.В. Зарицкого, характеризуется обильным образованием придаточных побегов на корневой системе, создающих трудности при эксплуатации в садово-парковых насаждениях [5].

На основании совокупных данных можно предположить, что резкое снижение качества семенного материала в 2024 году по сравнению с предыдущим периодом обусловлено воздействием неблагоприятных метеоусловий, повлиявших на опыление, вызревание плодов и формирование полноценных семян.

Заключение

Таким образом, представляется обоснованным вывод о том, что семена анализируемых видов в большинстве случаев обладают низкими посевными качествами. Однако это не исключает возможности их использования в вегетативном размножении. Вместе с тем семенное размножение может применяться, например, для получения подвоев. Во многих случаях интродуцированные виды либо вовсе не формируют семян, либо образуют семена неудовлетворительного качества. Это снижение качества является естественной адаптивной реакцией на непривычные климатические условия и не должно рассматриваться как препятствие к сбору семян для выращивания посадочного материала. Напротив, использование даже таких семян представляет собой важный этап поэтапной интродукции. При этом особое значение приобретает отбор экземпляров, способных формировать качественный семенной материал.

Список литературы

1. Андронова М.М. Зимостойкость и морозоустойчивость древесных видов в антропогенной среде европейского севера России // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 5. – С. 26-32.

2. Бабич, Н. А. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов: монография / Н. А. Бабич, О. С. Залывская, Г. И. Травникова; Н. А. Бабич, О. С. Залывская, Г.

И. Травникова; Федеральное агентство по образованию, Архангельский гос. технический ун-т. – Архангельск: Архангельский гос. технический ун-т, 2008. – 143 с.

3. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. https://docs.cntd.ru/document/1200025567 (дата обращения 15.09.2025).

4. ГОСТ 13056.8-97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения доброкачественности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200025569 (дата обращения 15.09.2025).

5. Зарицкий А.В. ПЛОДОВОДСТВО: лабораторный практикум / А.В. Зарицкий. – Благовещенск: ДальГАУ, 2014. – 153 с., ил.

6. Иванова Е.В. Качество плодов видов рода *Malus (L.) Mill*. при интродукции в условиях Белгородской области / Иванова Е.В., Сорокопудов В.Н., Сорокопудова О.А. // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4 URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=13751 (дата обращения: 15.09.2025).

7. Локтева, А. В. Грунтовая всхожесть семян представителей рода Павловния (*Paulownia Siebold & Zucc*.) при интродукции в Нижегородскую область / А. В. Локтева, А. А. Жильцова, А. О. Есичев // Лесное хозяйство: стратегия и перспективы развития: Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической онлайн конференции с международным участием, Нижний Новгород, 18 декабря 2024 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева, 2025. – С. 325-333.

8. Некрасов В.И. Принципы создания семенных плантаций интродуцированных древесных пород / В.И. Некрасов // Лесное хозяйство, 1973. - №11. - С. 35-37.

9. Попова, Е. Ю. Специфика патогенеза у лесных древесных пород, используемых в озеленении г. Воронежа / Е. Ю. Попова. // Молодой ученый. — 2009. — № 6 (6). — С. 24-28. URL: https://moluch.ru/archive/6/424/. (дата обращения 15.09.2025).

10. Рязанцева, О. С. Анализ всхожести семян в рамках комплексной оценки результатов интродукции древесных пород / О. С. Рязанцева, А. Н. Цепляев // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Красноярск, 24 ноября 2023 года. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2024. – С. 88-91.

11. Рязанцева, О. С. Оценка качества семян древесных растений в рамках комплексного анализа результатов интродукции / О. С. Рязанцева, А. Н. Цепляев // Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. – 2023. – № 19. – С. 49-51.

12. Успенский, К. В. Лесопатологические исследования зеленых насаждений города Воронежа / К. В. Успенский // Известия Воронежского государственного педагогического университета. – 2013. – № 1(260). – С. 245-250.

13. Khudonogova E. Seed germination of woody and shrubby introduced species / E. Khudonogova, O. Zatsepina, S. Polovinkina, M. Rachenko, M. Tyapaeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – URL: https://www.researchgate.net/publication/335999224_Seed_germination_of_woody_and_shrubby_introduced_species

14. *Sorbus intermedia* Swedish Mountain Ash, Swedish Whitebeam – URL: https://sheffields.com/seeds/Sorbus/intermedia?utm_source=chatgpt.com

15. Gismeteo. – URL: https://www.gismeteo.ru/news/weather/klimat-voronezha-2024-j-god-vtoroj-samyj-tjoplyj-v-istorii-nabljudenij/ (дата обращения 15.09.2025).

16. Архив погоды. – URL: https://arhivpogodi.ru/arhiv/voronezh/2024/02/srednesutochnaya-temperatura.

References

1. Andronova M.M. Winter hardiness and frost resistance of tree species in the anthropogenic environment of the European north of Russia // Successes of modern natural science. – 2018. – No. 5. – pp. 26-32.

2. Babich, N. A. Introducers in the green construction of northern cities: a monograph / N. A. Babich, O. S. Zalyvskaya, G. I. Travnikova; N. A. Babich, O. S. Zalyvskaya, G. I. Travnikova ; Federal Agency for Education, Arkhangelsk State University. Technical University. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2008. 143 p.

3. GOST 13056.6-97. Seeds of trees and shrubs. Methods for determining germination [Electronic resource].- Access mode: https://docs.cntd.ru/document/1200025567 (date of reference 09/15/2025). 4. GOST 13056.8-97. Seeds of trees and shrubs. Methods for determining the quality [Electronic resource].- Access mode: https://docs.cntd.ru/document/1200025569 (accessed 15.09.2025).

5. Zaritsky A.V. FRUIT growing: laboratory practice / A.V. Zaritsky. Blagoveshchensk: DalGAU, 2014. 153 p., ill.

6. Ivanova E. V. The quality of fruits of species of the genus Malus (L.) Mill. Ivanova E. V., Sorokopudov V. N., Sorokopudova O. A. / / Modern problems of science and education. 2014. No. 4: https://science-education.ru/ru/article/view?id=13751 (date of request: 09/15/2025).

7. Lokteva, A.V. The soil area of seeds of representatives of the genus Paulownia (Paulownia Siebold & Zucc.) during introduction to the Nizhny Novgorod region / A.V. Lokteva, A. A. Zhiltsova, A. O. Yediev // forestry: strategy and development prospects: collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical online conference with international participation, Nizhny Novgorod, December 18, 2024. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agrotechnological University named after L. Ya. Florentyev, 2025. pp. 325-333.

8. Nekrasov V. I. principles of creating seed plantations of introduced tree species / V. I. Nekrasov // Forestry, 1973. - No. 11. - pp. 35-37.

9. Popova, E. Y. specificity of pathogenesis in forest tree species used in landscaping in Voronezh / E. Y. Popova. - Text : unenlightened // Young scientist. — 2009. — № 6 (6). - Pp. 24-28. - URL: https://moluch.ru/archive/6/424 /. (accessed 15.09.2025).

10. Ryazantseva, O. S. Seed germination analysis in the framework of a comprehensive assessment of the results of tree species introduction / O. S. Ryazantseva, A. N. Tseplyaev // Technology and equipment of horticultural and landscape construction : collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, November 24, 2023. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev, 2024, pp. 88-91.

11. Ryazantseva, O. S. evaluation of the quality of seeds of tree plants in the framework of a comprehensive analysis of the results of introduction / O. S. Ryazantseva, A. N. Tseplyaev // Scientific papers of the Cheboksary branch of the Main Botanical Garden named after V. V. Tsitsin, Russian Academy of Sciences. – 2023. – № 19. - pp. 49-51.

12. Uspensky, K. V. lesopathological studies of green spaces in Voronezh / K. V. Uspensky / / Proceedings of the Voronezh State Pedagogical University. – 2013. – № 1(260). - Pp. 245-250.

13. Khudonogova E. Seed germination of woody and shrubby introduced species / E. Khudonogova, O. Zatsepina, S. Polovinkina, M. Rachenko, M. Tyapaeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. - URL: https://www.researchgate.net / publication / 335999224_seed_germination_of_woody_and_shrubby_introduced_species (accessed 09/15/2025). 14. SORBUS intermedia Swedish Mountain Ash, Swedish WHITEBEAM – URL: https://sheffields.com/seeds/Sorbus/intermedia?utm_source=chatgpt.com (accessed 15.09.2025).

15. Gismeteo. – URL: https://www.gismeteo.ru/news/weather/klimat-voronezha-2024-j-god-vtoroj-samyj-tjoplyj-v-istorii-nabljudenij / (accessed 09/15/2025).

16. Arhiv pogodi. – URL: https://arhivpogodi.ru/arhiv/voronezh/2024/02/srednesutochnaya-temperatura (accessed 15.09.2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_463-470
УДК 635.925 635.037

ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ НИВАКИ ИЗ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS L.) В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПИТОМНИКЕ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Л.А. Тихонова-Латинская, А.Н.Цепляев
Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация. Формирование ниваки — это древнее искусство, которое зародилось в Японии и представляет собой уникальный метод изменения формы деревьев.

В этой статье описана техника формирования ниваки из сосны обыкновенной в условиях питомника декоративных растений в Воронежской области.

Ключевые слова: ниваки, топиарные стрижки, формовочная обрезка ,сосна черная, сосна обыкновенная.

THE EXPERIENCE OF FORMING NIVAKA FROM PINE IN A PRODUCTION NURSERY VORONEZH REGION

L.A. Tikhonova-Latinskaia, A.N. Tseplyaev
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Annotation. Nivaka formation— this is an ancient art that originated in Japan and is a unique method of changing the shape of trees. This article describes the technique of forming a nivaka from black and common pines in a nursery of ornamental plants in the Voronezh region.

Keywords: nivaki, topiary haircuts, molding pruning, Pinus nigra, Pinus sylvestris.

Введение

В настоящее время искусство Ниваки («Нива» – сад, «Ки» –дерево), традиционно ассоциирующееся с японской культурой, обрело значительную популярность не только в Японии, но и в других странах, включая Россию [1, 2]. Основанное на древних знаниях и практиках, это искусство претерпело значительные трансформации благодаря внедрению современных технологий и методик [3].

Пройдя многовековой путь ниваки эволюционировало, сохраняя свою культурную идентичность, но адаптируясь к новым условиям и требованиям времени. В рамках техники ниваки, то есть японского искусства обрезки и формирования деревьев, можно использовать широкий спектр растений, включая хвойные породы, такие как сосна (Pinus spp.), ель (Picea spp.) и можжевельник (Juniperus spp.) [5], а также некоторые лиственные деревья и кустарники. Выбор конкретных видов растений для формирования топиаров в стиле «Ниваки» зависит от множества факторов, включая климатические условия, тип почвы и индивидуальные предпочтения садовода [4, 6].

Актуальность данной темы обусловлена тем, что приобретение ниваки из страны его происхождения не всегда возможно, в то время как интерес к владению такими растениями остается высоким среди широкой аудитории. В условиях глобализации и увеличения спроса

© Тихонова-Латинская Л. А., Цепляев А. Н., 2025

на экзотические растения, вопрос о возможности культивирования ниваки в различных климатических зонах становится особенно значимым [3]. В данной статье мы рассмотрим процесс создания древесных форм ниваки из сосны обыкновенной.

Объекты и методика

Объектом формирования ниваки, описанного в данной статье, являются экземпляры сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), произрастающие в школе длительного выращивания декоративного питомника ООО «Объединенные питомники», расположенного в Воронежской области. (51° 48.368' с. ш. и 38° 57.037' в. д.). Представленные экземпляры сосны успешно прошли все ключевые этапы культивационного процесса, начиная с первоначального посева семян в разводочном отделении, затем доращивания в контейнерах с применением стандартных агротехнических методик и заканчивая серией последовательных пересадок в школьное отделение.

На рисунке (рис.1) представлен экземпляр сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), который стал основой для создания ниваки.

а б

Рисунок 1– Сосна обыкновеннаяв процессе создания ниваки: а – до первой обрезки; б – после первой обрезки

Перед началом формирования ниваки был проведен детальный анализ пространственного расположения растения относительно сторон света. Данный этап является критически важным для достижения гармоничной, эстетически сбалансированной и функционально эффективной структуры кроны. Необходимо учитывать, что с северной стороны наблюдаются существенные различия в плотности и структуре роста кроны, обусловленные различной интенсивностью солнечного излучения.

Следующим этапом было проведение глубокой структурной обрезки и тщательной очистки кроны. В процессе формировки в первую очередь были удалены терминальные побеги, оставив не более четырех мутовок. В каждой мутовке были устранены слабые ветви, оставив три-четыре сильные, направленные в различных направлениях. На самих ветвях были удалены слабые побеги, оставив преимущественно приросты двух–трехлетнего возраста (рис. 2 а).

Через год после первой стрижки на будущих «лапах» наблюдалась активация трех порядков почек. Для максимального пробуждения почек и стимуляции их развития необходимо было провести подрезку приростов. При обрезке верхушек и низа "лапы" важно было учитывать, что именно в этих зонах чаще всего происходит пробуждение почек. Новые почки обычно появляются там, где остались хвоинки (рис 2 б).

а б

Рисунок 2 – Стимуляция пробуждения новых почек

Затем мы аккуратно зафиксировали ветви будущего ниваки, чтобы они в дальнейшем приняли желаемую форму. На рисунке 3 изображена заготовка на растяжках, где выполнялся следующий этап работы — формирование "лап" будущего ниваки.

При натягивании ремней к земле мы действовали поэтапно, чтобы минимизировать риск повреждения ветвей. Мы постепенно увеличивали натяжение, давая ветвям время адаптироваться к новым условиям. Важно подчеркнуть, что в теплый период года наблюдается оптимальная гибкость ветвей, однако возможно проведение растяжки лап и в холодное время года. Ключевым фактором является соблюдение температурного режима, температура воздуха не должна быть ниже -10°С, поскольку при более низких температурах ветви становятся хрупкими. Растяжка лап в таких условиях может привести к механическому повреждению ветвей, включая их обламывание.

Рисунок 3– Фиксирование скелетных ветвей на растяжках

Для формирования плоской лапы использовалась бамбуковая лигатура. На ней мы растягиваем лапу, обеспечивая, чтобы ветки не перекрывали друг друга и формировались так, как нам это необходимо (рис 4).

Рисунок 4–лапа ниваки на лигатуре

Лапа, растянутая на лигатуре, получается более плоская, а без нее пришлось бы удалять длинные и толстые ветви, а сама лапа получалась бы рыхлой и склонной к разрушению (рис 5).

Рисунок 5 –Лапа без использования лигатуры

Если формировать крону без применения лигатуры, то обрезка осуществляется под спящие почки. В дальнейшем остаётся только стричь, чтобы создать эффект шапки.

Формирование кроны ниваки без систематической обрезки приводит к утрате структурной целостности и эстетического потенциала растения. В результате наблюдается деградация кроны, что негативно сказывается на внешнем виде ниваки, снижая его декоративную ценность и нарушая гармонию композиции (рис 6).

Рисунок 6 – Лапы ниваки без лигатуры и регулярной обрезки.

В этом случае необходимо удалить молодые побеги и шишки. Они истощают растение. Затем следует растянуть лапы ниваки с помощью лигатуры. Для предотвращения разрушения лапы и её укрепления, приросты следует укорачивать до спящих почек. Длина укорачивания должна соответствовать предполагаемой плоскости. Важно решительно удалять толстые побеги.

Наиболее значимым аспектом в процессе формирования ниваки является своевременное проведение обрезки ветвей и их постепенное растяжение по мере необходимости. Для достижения желаемого результата, представленного на рисунке 13, требуется значительное время, а именно 6–8 лет. В течение этого периода происходит формирование плотных крон на ветвях и приобретение ими желаемой формы.

Рисунок 7– Ниваки 6 лет формировки.

Результаты и обсуждение

Систематическая обрезка не только сохраняет заданную форму, но и стимулирует рост новых почек, увеличивая плотность и декоративность кроны. Если прекратить формирование ниваки, растение постепенно возвращается к своей природной форме. Так же в процессе формирования ниваки необходимо учитывать ориентацию растения относительно сторон

света, так как это оказывает значительное влияние на морфологию и физиологию побегов. В частности, наблюдается асимметрия в закладке новых почек на разных сторонах кроны.

Согласно данным исследований, на южной стороне растения формируется в два–три раза больше почек, чем на северной. Это обусловлено более благоприятными условиями освещения и температурным режимом на южной экспозиции. Анализ фенологических характеристик шестилетнего ниваки выявил значительную асимметрию в интенсивности закладки почек на южной и северной сторонах растения. На южной экспозиции данный показатель достигает более 500 единиц, в то время как на северной не превышает 200 единиц. Для двух–трехлетних растений соответствующие значения значительно ниже.

Можно предположить, что данная закономерность обусловлена влиянием инсоляции на метаболические процессы в тканях растения. Южная сторона, получая больше солнечного света, способствует активизации фотосинтетических процессов, что, в свою очередь, может оказывать положительное влияние на формирование почек.

Данная асимметрия в закладке почек приводит к различиям в плотности и структуре ветвей на разных сторонах ниваки.

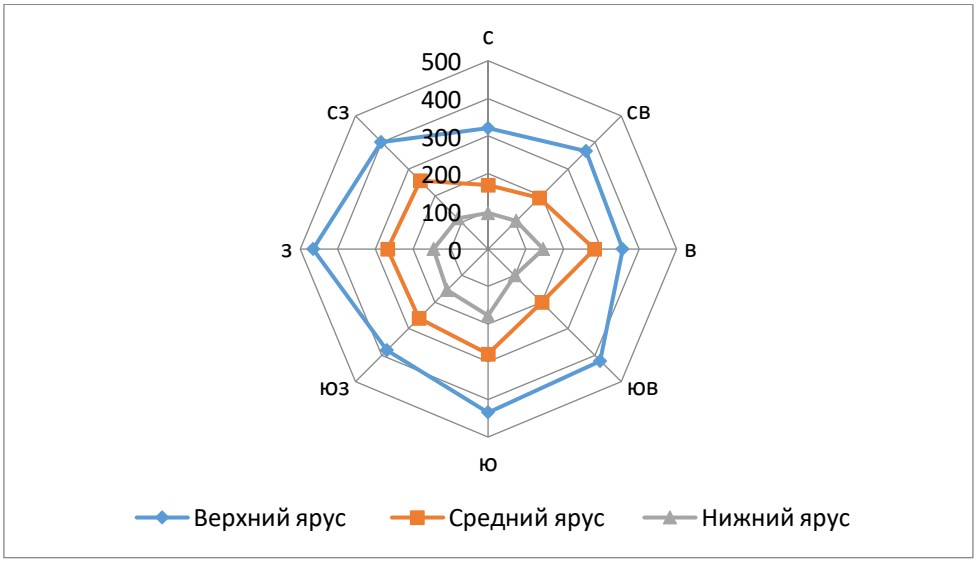


Рисунок 8– Распределение почек в зависимости от ориентации ветвей по сторонам света и ярусам

В данной диаграмме визуализированы данные о распределении точек закладки почек на различных участках растения, ориентированных по сторонам света.

Диаграмма демонстрирует среднее значение распределения почек на растениях ниваки, участвовавших в экспериментальных исследованиях, по ярусам и направлениям в пространстве. Эта визуализация позволяет провести детализированный анализ динамики формирования почек в зависимости от их расположения относительно сторон света и высоты яруса. Исследование показывает, что ориентация по сторонам света существенно влияет на морфогенез почек, но не менее важным аспектом является ярусность растения. Обнаружено последовательное увеличение числа закладываемых почек с повышением уровня яруса, что указывает на наличие адаптационных механизмов, улучшающих фотосинтетическую активность и рост растения. Таким образом, представленная схема визуализирует сложную пространственную структуру образования новых почек у ниваки, что имеет ключевое значение для понимания экофизиологических процессов.

При анализе данных становится очевидным, что необходимо учитывать не только технические аспекты этого искусства, но и другие значимые факторы, такие как ориентация объекта по сторонам света.

Заключение

Формирование ниваки — это искусство, требующее тщательного подхода и учета множества факторов. Ориентация растения относительно сторон света, его вид, возраст, условия произрастания и требования к уходу играют ключевую роль в создании гармоничной и естественной композиции. Внимание к этим аспектам позволяет добиться не только эстетически привлекательного, но и устойчивого результата. В данной работе мы проанализировали, изменения растений, участвовавших в эксперименте с течением времени — от первых шагов до желаемого результата через 5–8 лет. Особое внимание было уделено технике обрезки и формирования кроны в условиях питомника Воронежской области.

Список литературы

1. Белозёров И.Л. Садовые бонсаи-ниваки в ландшафтном дизайне/И.Л.Белозёров, О.Ю.Зенкина, Н.А.Старунова// Философия современного природопользования в бассейне реки Амур. Сборник трудов по материалам V международной научно- практической конференции. ответственный редактор: П. Б. Рябухин. – Издательство: Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск), 2016 – С.63-65.

2. Бельц Г. Фигурная стрижка деревьев, формы методы, уход / Г. Бельц. – М.: ЗАО «БММ», 2008. – 128 с.

3. Диденко Д. В. Изгороди, топиарии и садовые бонсаи из представителей аборигенной флоры Крыма в Г. Севастополе / Д. В. Диденко, А. И. Репецкая // Проблемы и перспективы развития современной ландшафтной архитектуры: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Симферополь, 25–28 сентября 2017 года. 2017. – С. 183-188.

4. Егорова Д.А., Сидельникова К.А., Агаурова А.А., Осинкина Н.А., Чесноков Н.Н. История топиарного искусства // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 3. С. 259.

5. Ильина Е. К. Топиарное искусство // Бизнес и дизайн ревю. 2023. №1 (29).

6. Пычин О.Н., Сокольская О.Б. Практический опыт топиарного искусства из хвойных насаждений в Поволжье / О.Н. Пычин, О.Б. Сокольская // В сборнике: Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики - 2021. Материалы международной научно-технической конференции. Под научной редакцией О.Б. Сокольской и И.Л. Воротникова. Саратов, 2021. С. 97-100.

7. Цепляев А.Н. Влияние интенсивности освещения на приросты топиаров // Питомник & частный сад. 2020. № 1. С. 2-5.

References

1. Belozerov I.L. Garden bonsai fields in landscape design/I.L.Belozerov, O.Y.Zenkina, N.A.Starunova// Philosophy of modern nature management in the Amur River basin. Collection of papers based on the materials of the V International Scientific and practical conference. Executive editor: P. B. Ryabukhin. – Publishing house: Pacific State University (Khabarovsk), 2016 – pp.63-65.

2. Balti G. Curly cutting of trees, forms, methods, care / G. Balti. – M.: CJSC "BMM", 2008. – 128 p.

3. Didenko D. V. Hedges, topiaries and garden bonsai from representatives of the indigenous flora of the Crimea in Sevastopol / D. V. Didenko, A. I. Repetskaya // Problems and prospects of development of modern landscape architecture: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical conference with international participation, Simferopol, September 25-28, 2017. 2017. pp. 183-188.

4. Egorova D.A., Sidelnikova K.A., Agaurova A.A., Osinkina N.A., Chesnokov N.N. History of topiary art // Science and Education. 2020. Vol. 3. No. 3. p. 259.

5. Ilyina E. K. Topiary art // Business and Design Review. 2023. №1 (29).

6. Pychin O.N., Sokolskaya O.B. Practical experience of topiary art from coniferous plantations in the Volga region / O.N. Pychin, O.B. Sokolskaya // In the collection: Landscape

architecture and environmental management: from project to economy - 2021. Materials of the international scientific and technical conference. Edited by O.B. Sokolskaya and I.L. Vorotnikov. Saratov, 2021. pp. 97-100.

7. Tseplyaev A.N. Influence of lighting intensity on topiary growth // Nursery & private garden. 2020. No. 1. pp. 2-5.

DOI: 10.58168/Forestry2025_471-479
УДК 631.52

ОЦЕНКА ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ ТОПОЛЕЙ (POPULUS L.) ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Е. И. Трапезникова

Ассистент кафедры лесной генетики, биотехнологии и физиологии растений,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Аннотация

В статье представлены результаты комплексного исследования трех перспективных сортов тополей: тополя Менделеевского (Populus alba), Гибрида Т.белый×Осина (Populus alba L.× Populus tremula L.) и Башкирского пирамидального тополя (Populus bashkiriana Piramidalis). Целью данной работы являлась оценка фенотипических признаков перспективных сортов тополей (тополь Менделеева, гибрид Т.белый×Осина и Башкирский пирамидальный тополь) для выявления ценного селекционного материала с целью дальнейшего использования в генетической селекции.В ходе исследования проводились морфометрические измерения ростовых параметров саженцев и анализ экспрессии ключевых генов стрессоустойчивости (STS, CPK10, P5CS, LEA, PAL, PR10, PR1, DREB) методом ПЦР в реальном времени. Установлены значительные межвидовые различия в ростовых характеристиках и профилях экспрессии генов. Тополь Менделеева показал наибольшие показатели высоты (122,3 см) и диаметра ствола (0,95 см), но относительно низкую экспрессию генов стрессоустойчивости. Башкирский тополь продемонстрировал комплексную устойчивость с высокой экспрессией большинства изученных генов, но низкие ростовые характеристики. Гибрид Т.белый×Осина показал промежуточные значения по обоим параметрам.

Ключевые слова: тополь, селекция, стрессоустойчивость, экспрессия генов, морфометрические показатели, Populus alba,Populus alba L.×Populus tremula L,Populus bashkiriana Piramidalis.

EVALUATION OF PHENOTYPIC TRAITS OF PROMISING POPLAR (POPULUS L.) VARIETIES FOR USE IN GENETIC BREEDING.

E. I. Trapeznikova

Assistant, Department of Forest Genetics, Biotechnology, and Plant Physiology,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

Abstract

This article presents the results of a comprehensive study of three promising poplar forms: Mendeleev Poplar (Populus alba), Hybrid P.white×Aspen (Populus alba L. × Populus tremula L.), and Bashkir Pyramidal Poplar (Populus bashkirica «Piramidalis»). The aim of this work was to evaluate the phenotypic traits of promising poplar varieties (Mendeleev poplar, the P. white × Aspen hybrid, and the Bashkir pyramidal poplar) to identify valuable breeding material for further use in genetic selection. The study included morphometric measurements of seedling growth parameters and an analysis of the expression of key stress resistance genes (STS, CPK10, P5CS, LEA, PAL,

© Трапезникова Е. И., 2025

PR10, PR1, DREB) using real-time PCR. Significant interspecific differences in growth characteristics and gene expression profiles were revealed. The Mendeleev poplar demonstrated the highest height (122.3 cm) and trunk diameter (0.95 cm), but relatively low expression of stress-resistance genes. The Bashkir poplar demonstrated complex resistance with high expression of most of the studied genes, but poor growth characteristics. The P.white × Aspen hybrid showed intermediate values for both parameters.

Keywords: poplar, selection, stress resistance, gene expression, morphometric parameters, Populus alba, Populus alba L.×Populus tremula L, Populus bashkiriana Pyramidalis.

Введение

В современных условиях, когда вопросы экологической безопасности, рационального природопользования и сохранения биоразнообразия выходят на первый план, особое значение приобретает изучение древесных растений, сочетающих высокую хозяйственную ценность с экологической пластичностью. Среди таких растений выдающееся место занимают представители рода Populus L. – тополя, которые благодаря быстрому росту, широкому ареалу и разнообразию сортов играют ключевую роль в лесообразовании, защитном лесоразведении и озеленении урбанизированных территорий [9,10].

Гибрид тополя белого и осины, известный в научной литературе как тополь сереющий (Populus alba × P. tremula) достигает 30–40 метров в высоту и демонстрирует исключительное морфологическое разнообразие. Форма его кроны варьирует от широкоовальной и раскидистой до узкопирамидальной, известной как «узкокронная форма». Кора на молодых деревьях светло–серая и гладкая, с возрастом становится темно–серой, с глубокими продольными трещинами в нижней части ствола [11]. Особый интерес представляет листовой диморфизм и гетерофиллия растения: на ростовых побегах и поросли листья 3–5–лопастные, длиной 10–15 см, напоминающие листья тополя белого, тогда как на укороченных побегах в кроне взрослого дерева они приобретают округло–яйцевидную или округло–ромбическую форму с неравно–зубчато–выемчатым краем. Характерной особенностью является густое белое войлочное опушение, которое у молодых листьев покрывает обе стороны пластинки, а у взрослых сохраняется только на нижней стороне, придавая ей серебристо–белый оттенок. Сплюснутые с боков черешки обеспечивают характерное дрожание листьев даже при слабом ветре. Экологическая пластичность этого гибрида, его устойчивость к неблагоприятным почвенным условиям, включая способность расти на тяжёлых глинах и болотах, открывают широкие перспективы для защитного лесоразведения и фиторемедиации [10,11].

Башкирский пирамидальный тополь (Populus x bashkiriana «Piramidalis»), созданный селекционером А.М. Березиным, представляет собой результат целенаправленной селекционной работы. Этот сорт с его стройной узкоколонновидной кроной, где отношение высоты к ширине составляет 5:1, стал эталоном урбоэкологии [1]. Дерево достигает высоты 25–30 метров и характеризуется исключительно стройным, пирамидальным габитусом. Мутовчатое ветвление создаёт компактный, почти колонновидный силуэт благодаря скелетным ветвям, отходящим от ствола под острым углом 45–60° и плотно прижатым к нему [6]. Кора у молодых деревьев гладкая, светло–серая, с возрастом становится темно–серой со слабыми трещинами. Крупные листовые пластинки длиной 9–13 см имеют ромбически–яйцевидную или треугольно–яйцевидную форму с ширококлиновидным основанием и заострённой верхушкой. Тёмно–зелёная глянцевая поверхность листьев контрастирует с более светлой нижней стороной, а длинные тонкие черешки, сплюснутые с боков, обеспечивают лёгкое дрожание листвы [10,11]. Важнейшим преимуществом сорта является то, что все деревья представляют собой мужские вегетативные клоны, что полностью исключает образование пуха. Сочетание высокой декоративности, выдающейся зимостойкости (до –40°C) и феноменальной экологической эффективности делает этот сорт незаменимым для городского озеленения [1].

Тополь Менделеевский в усадьбе Шахматово представляет собой уникальный экземпляр тополя серебристого (Populus alba), имеющий не только научное, но и огромное культурно–историческое значение. Дмитрий Иванович Менделеев лично привез этот тополь с Урала в 1880–х годах, демонстрируя свой глубокий интерес не только к химии, но и к ботанике, лесоводству и рациональному природопользованию. Учёный тщательно выбирал место для посадки, учитывая почвенные условия и освещенность, что отражало его системный подход к любым экспериментам. Этот тополь стал свидетелем важных научных открытий и творческих процессов – под его раскидистой сенью Менделеев обдумывал свои теории, а позднее здесь черпал вдохновение Александр Блок. Современники отмечали необычайную мощь и высоту этого дерева – его крона возвышалась над другими деревьями усадьбы, символизируя величие научной мысли (шахматово.рф).

Тополь серебристый (Populus alba) достигает 30–35 метров в высоту с диаметром ствола до 2 метров. Его мощный ствол покрыт характерной корой: у молодых деревьев она гладкая, серо–зелёная, а у взрослых экземпляров становится тёмно–серой, с глубокими продольными трещинами. Раскидистая яйцевидная крона создаёт густую тень, а листья проявляют удивительный диморфизм – на ростовых побегах они 3–5–лопастные длиной 10–15 см, а на укороченных побегах – округло–яйцевидные, длиной 6–10 см [5]. Главная особенность листьев – их двуцветная окраска: верхняя сторона тёмно–зелёная и глянцевая, а нижняя покрыта снежно–белым войлочным опушением, что придает дереву особую декоративность. Экологические особенности этого вида впечатляют: тополь белый способен жить 180–200 лет, ежегодно прибавляя в росте до 1,2 метра в молодом возрасте. Его корневая система смешанного типа включает стержневой корень глубиной до 4 метров и мощные поверхностные боковые корни, что обеспечивает исключительную засухоустойчивость и ветроустойчивость. Дерево выдерживает морозы до –45°С и обладает выдающейся порослевой способностью, давая корневые отпрыски в радиусе 15–20 метров [10].

Целью данной работы является оценка фенотипических признаков перспективных сортов тополей (тополь Менделеева, гибрид Т.белый×Осина и Башкирский пирамидальный тополь) для выявления ценного селекционного материала с целью дальнейшего использования в генетической селекции.

Материалы и методы

Исследование проводилось на трех перспективных сортах тополей:

Тополь Менделеевский (Populus alba) – исторический клон из усадьбы Шахматово

Гибрид тополя белого и осины (Populus alba × P. tremula)

Башкирский пирамидальный тополь (Populus x bashkiriana «Piramidalis»)

Были высажены по 5 черенков размером 23–25 сантиметров каждый. Саженцы выращивались в 2–литровых сосудах [8].

Работы по выращиванию контейнезированных саженцев тополя проводились в отапливаемой теплице. Туман создавался автоматической ирригационной системой, режим полива задавался и контролировался при помощи программатора Hunter PCC901 –E (США).

Влажность воздуха в теплице контролировалась при помощи психрометрического гигрометра ВИТ –2 и поддерживалась в пределах 80 –95 %.

Статистическую обработку проводили с использованием программы Statistica версии 12.6 («StatSoft, Inc.», США).

Измерения проводились через 5 месяцев после посадки черенков. Высота растений определялась с помощью линейки, с точностью до 1 см. Диаметр ствола измерялся электронным штангенциркулем на высоте 1 см от корневой шейки

Для каждого параметра выполнено 5 повторностей на каждую форму тополя

Образцы листьев для выделения РНК отбирались с 5 растений каждой формы в фазе активного роста

Выделение тотальной РНК проводилось с использованием СТАВ–буфера (Hexadecyltrimethyl ammonium bromide):

Состав используемого СТАВ–буфера: (2% (масса / объем) ЦТАБ; 0.1 М Tris–HCl (pH 8.0); 1.4 М NaCl; 20 mM EDTA (pH 8.0); 2 % (масса / объем) PVP), 2% β–меркаптоэтанола.

1.Л истья тополя (50 мг) растирали в ступке с СТАВ–буфером. Пробирку инкубировали при 65 °С в течение часа с постоянным встряхиванием.

2.После инкубации к лизату добавляли 1 объем (≈1 мл) смеси хлороформ : изоамиловый спирт (24:1, pH ~4.7). Смесь центрифугировали при 12 000 g в течение 10 минут при 4 °С. После центрифугирования верхнюю водную фазу осторожно переносят в новую пробиркую

3.К перенесенной водной фазе добавляли 1 объем смеси хлороформ : фенол(1:1), тщательно встряхивали и центрифугировали при 12 000 g в течение 10 минут. Верхнюю водную фазу аккуратно переносили в новую пробирку.

4.К перенесенной водной фазе добавляли 1 объем хлороформа, тщательно встряхивали и центрифугировали при 12 000 g в течение 10 минут. Верхнюю водную фазу аккуратно переносили в новую пробирку.

5.Для осаждения РНК к очищенной водной фазе добавляют 1/3 объема охлажденного 12 М раствора хлорида лития (LiCl). Смесь осторожно, но тщательно перемешивали переворачиванием пробирки и инкубировали для осаждения при –20 °С в течении часа.

6.После осаждения пробирку центрифугировали при 12 000 g в течение 15 минут при 4 °С.

7.Супернатант осторожно удаляли, а полученный осадок РНК дважды промывали 500 мкл охлажденного 70% этанола, с центрифугированием при 12 000 g в течение 5 минут при 4 °С после каждой промывки.

8.Осадок подсушивали на воздухе в течение 5–10 минут.

9.Высушенный осадок РНК растворили в 50 мкл воды.

Обратная транскрипция.

Синтез кДНК выполняли с помощью набора набор MMLV RT kit (Евроген).

Использовали 1 мкг тотальной РНК и гексамерные праймеры

ПЦР в реальном времени

Количественную полимеразную цепную реакцию производили на приборе LightCycler 480 II (Roche Diagnostics, Швейцария) с применением смеси, состоящей из 16 мкл воды, 5 мкл 5X qPCRmix–HS SYBR (Евроген, Россия), 1 мкл прямого, 1 мкл обратного праймеров и 2 мкл ДНК–матрицы.

Протокол:

·Денатурация: 95°С – 3 мин

40 циклов: 95°С – 15 сек, 60°С – 30 сек, 72°С – 30 сек

Анализ кривых плавления: 65–95°С

Использованные пары праймеров:

STS: F 5'–ATGGGCGAGATTCTCAACCC–3', R 5'–TCAGCTTGACACCACCATCA–3'

CPK10: F 5'–GCTCAACGGTGGTATGGAAG–3', R 5'–TGGTGGTGGTGGTGGTGGTA–3'

P5CS: F 5'–CAGCAACAGCAGCAACAGCA–3', R 5'–GCTTGCTGCTTGCTGCTTGC–3'

LEA: F 5'–ATGGCTGCGGCGGCGGCGGC–3', R 5'–TCAGCGGCCGCCGCCGCCGC–3'

PAL: F 5'–GCTCAACGGTGGTATGGAAG–3', R 5'–TGGTGGTGGTGGTGGTGGTA–3'

PR10: F 5'–CAGCAACAGCAGCAACAGCA–3', R 5'–GCTTGCTGCTTGCTGCTTGC–3'

PR1: F 5'–ATGGCTGCGGCGGCGGCGGC–3', R 5'–TCAGCGGCCGCCGCCGCCGC–3'

DREB: F 5'–ATGGCGATCTTCACCATCCT–3', R 5'–TCAGCACGAAGGTCTGGTTC–3'

Референсный ген GAPDH: F 5'–GTGCCAAGGCTATCCACGAC–3', R 5'–CACCAGCATCACCCACTTGA–3'

Статистический анализ

Для каждого набора данных рассчитывались:

Среднее арифметическое (M)

Стандартное отклонение (SD)

Стандартная ошибка среднего (SEM) Статистические тесты:

1. Проверка нормальности распределения: осуществлялась с помощью теста Шапиро–Уилка при уровне значимости α = 0,05.

2. Проверка гомогенности дисперсий: выполнялась с использованием теста Левена.

3. Сравнение нескольких групп: при нормальном распределении и гомогенности дисперсий применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим пост–хок тестом Тьюки для множественных сравнений.

Различия между группами считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Табл.1. Морфометрические показатели саженцев

Морфометрический показатель	Тополь Башкирский	Тополь Менделеевский	Гибрид Т.белый×Осина
Высота	92,2±11,5	122,3±12,3	99±10,8
Диаметр	0,66±0,08	0,95±0,18	0,6±0,07

Через 5 месяцев после посадки были получены следующие данные по ростовым параметрам(табл.1). Наибольшие показатели высоты и диаметра ствола были зафиксированны у тополя Менделеевский (122,3 см и 0,95 см соответственно). Это может быть связано с генетическими особенностями этого сорта, а также с адаптацией материнского дерева к условиям произрастания. Гибрид Т.белый×Осина демонстрирует промежуточные значения по высоте (99,0 см), но наименьший диаметр ствола (0,60 см). Это может свидетельствовать о более активном развитии корневой системы и формировании листовой поверхности. Тополь Башкирский показывает наименьший прирост по высоте и средний диаметр ствола. Это может также свидетельствовать о более активном росте корневой системы и накоплении большого количества запасающих веществ [13].

Анализ экспрессии генов выявил различия между исследуемыми сортами(рис.1–3).

В результате амплификации в реальном времени были получены данные по экспрессии генов устойчивости у 3 исследуемых сортов тополей. Экспрессия всех исследуемых генов у Башкирского тополя выше, чем экспрессия этих генов у других исследуемых сортов.

Экспрессия генов PR10 и PR1 в десятки раз превышает экспрессию этих генов у других исследуемых сортов. Это свидетельствует об устойчивости данного сорта к фитопатогенам. Белки PR10 относятся к семейству рибонуклеазоподобных белков и участвуют в деградации РНК патогенов, в то время как PR1 белки обладают прямой фунгицидной и бактериостатической активностью, лизируя мембраны патогенов [3].

Также были получены данные по экспрессии генов, ответственных за устойчивость к абиотическим стрессам. Гены DREB, LEA и P5CS проявляют наибольшую активность у Башкирского тополя. Гены DREB кодирует транскрипционный фактор, который активирует каскад защитных реакций при дефиците воды и низких температурах. LEA белки выполняют функцию молекулярных шаперонов, которые защищают клеточные структуры от повреждения при обезвоживании. P5CS обеспечивает синтез пролина, который поддерживает тургор клеток при водном дефиците, нейтрализует АФК, защищает белки от денатурации [2,8].

Гены вторичного метаболизма STS и PAL демонстрируют максимальную активность у Башкирского тополя, что свидетельствует об интенсивном синтезе фитоалексинов и фенольных соединений. Стильбенсинтаза (STS) катализирует образование ресвератрола и его производных – соединений с доказанной антимикробной и антиоксидантной активностью. Фенилаланин–аммиак–лиаза (PAL) является ключевым ферментом фенилпропаноидного пути, приводящего к накоплению флавоноидов, лигнинов и других защитных соединений [2,3,4].

Высокая экспрессия гена CPK10 была обнаружена у Башкирского тополя и у гибрида Т.белый×Осина. Кальций–зависимые протеинкиназы играют ключевую роль в передаче стрессовых сигналов у растений [14]

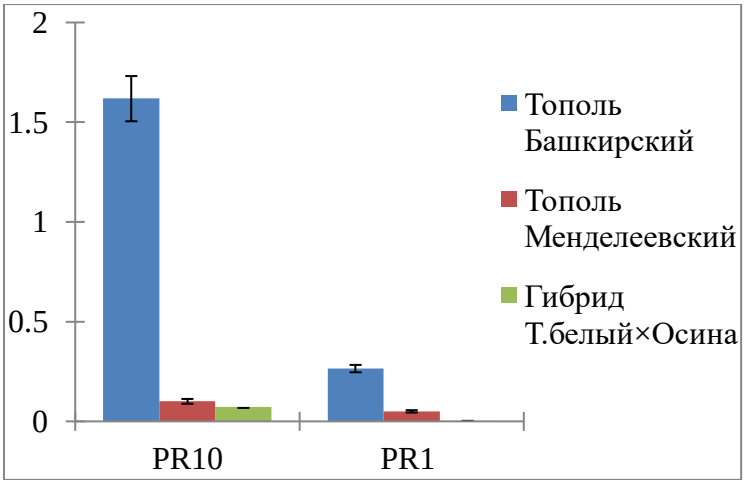


Рис.1. Экспрессия генов защиты от патогенов.

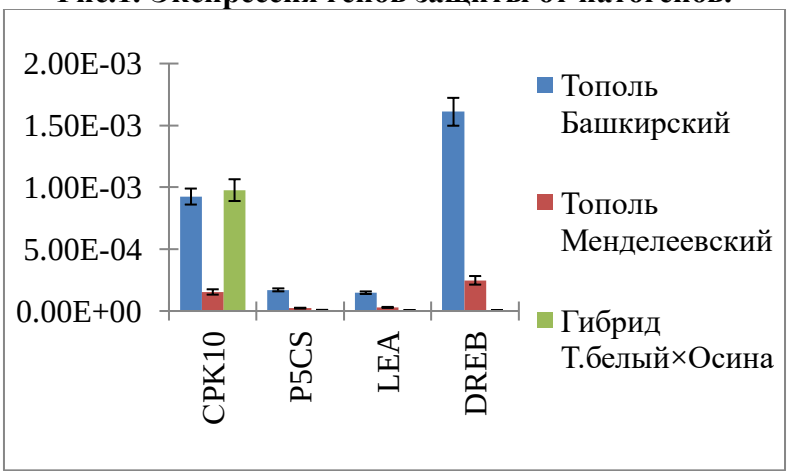


Рис.2. Экспрессия генов адаптации к абиотическим стрессам.

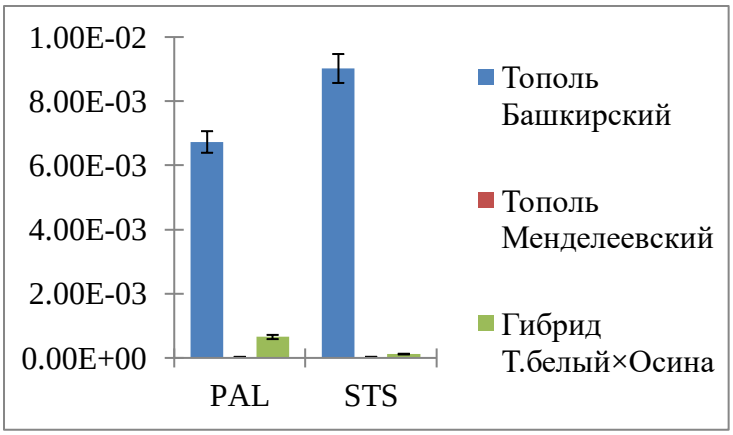


Рис.3. Экспрессия генов вторичного метаболизма.

Обнаруже.на обратная корреляция между ростовыми показателями и уровнем экспрессии генов устойчивости. Тополь Менделеева, демонстрирует максимальные показатели роста, но низкий уровень экспрессии генов устойчивости. Можно сделать вывод, что основные ресурсы тратятся на процессы первичного метаболизма и биосинтез структурных компонентов. В то же время Башкирский тополь поддерживает высокий уровень защиты от различных стрессовых факторов, что ограничивает скорость роста [13]

Заключение

Проведенное исследование позволило получить комплексную характеристику трех перспективных сортов тополей и выявить их особенности, определяющие практическую ценность для селекции и лесного хозяйства.

1. Установлены значительные различия в ростовых характеристиках изученных форм. Тополь Менделеевский демонстрирует наибольшую ростовую энергию, что делает его перспективным для использования в целях быстрого получения древесной биомассы в благоприятных условиях произрастания.

2. Выявлены специфические профили экспрессии генов устойчивости. Башкирский тополь характеризуется комплексной устойчивостью, обусловленной высокой экспрессией генов защиты от патогенов (PR10, PR1), генов адаптации к абиотическим стрессам (DREB, LEA, P5CS) и генов вторичного метаболизма (STS, PAL).

3. Обнаружена обратная корреляция между ростовыми показателями и уровнем экспрессии генов устойчивости. Тополь Менделеевский направляет ресурсы на рост и развитие, но это снижает его устойчивость к различным воздействиям. Башкирский тополь обладает хорошей системой защиты, но при этом имеет минимальные показатель роста. Гибрид Т.белый×Осина имеет промежуточные значения по обоим параметрам и представляет собой сбалансированный вариант.

Список литературы

1. Блонская Л. Н., Муфтахова С. И., Балденко М. Г. Анализ состояния деревьев тополя башкирского пирамидального Березина–Левашова (Populus nigra L × P. nigra f. italica Duroy) в условиях техногенного загрязнения г. Уфы // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 43. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-dereviev-topolya-bashkirskogo-piramidalnogo-berezina-levashova-populus-nigra-l-p-nigra-f-italica-duroi-v-usloviyah (дата обращения: 28.05.2025).

2. Газданова И. О., Гериева Ф. Т., Дзедаев Х. Т. Исследование гибридов картофеля ВНЦ РАН на наличие ДНК-маркеров устойчивости к вирусам и цистообразующей нематоде // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7 (184). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gibridov-kartofelya-vnts-ran-na-nalichie-dnk-markerov-ustoychivosti-k-virusam-i-tsistoobrazuyuschey-nematode (дата обращения: 07.10.2025).

3. Гродецкая Т. А., Евлаков П. М., Исаков И. Ю. Анализ экспрессии генов стрессоустойчивости в условиях воздействия засухи на растения березы в Центрально-Черноземном регионе // Лесотехнический журнал. 2020. № 2 (38). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ekspressii-genov-stressoustoychivosti-v-usloviyah-vozdeystviya-zasuhi-na-rasteniya-berezy-v-tsentralno-chernozemnom-regione

4. Заинчковская А. Н., Фомина Е. А., Кушанов Ф. Н., Урбанович О. Ю. Экспрессия генов TaDHN9-A, TaDHN13 и TaDHN20 у сортов яровой пшеницы в ответ на засуху // Молекулярная и прикладная генетика. 2023. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekspressiya-genov-tadhn9-a-tadhn13-i-tadhn20-u-sortov-yarovoy-pshenitsy-v-otvet-na-zasuhu

5. Крючков С. Н., Соломенцева А. С., Романенко А. К. Внутривидовые скрещивания выделенных биотипов родов вяз и тополь для получения гетерозисных селекционных форм // Аграрный вестник Урала. 2023. № 6 (235). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vnutrividovye-skreschivaniya-vydelennyh-biotipov-rodov-vyaz-i-topol-dlya-polucheniya-geterozisnyh-selektsionnyh-form

6. Назаров А. М., Туктарова И. О., Четвериков С. П., Иванов Р. С., Тимергалин М., Рязанова Н. А., Кудоярова Г. Р. Препараты на основе бактерий и гуматов для лесовосстановления и повышения депонирования углерода древесными растениями // Биосфера. 2023. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/preparaty-na-osnove-bakteriy-i-

gumatov-dlya-lesovosstanovleniya-i-povysheniya-deponirovaniya-ugleroda-drevesnymi-rasteniyami

7. Путенихин В. П. История Башкирского пирамидального тополя // Право, история, педагогика и современность: сборник статей IV Международной научно-практической конференции. Пенза: Пензенский гос. аграр. ун-т, 2023. С. 233–236.

8. Саитжанов Ш. А., Азимов А. А., Зияев З. М. Содержание аминокислоты пролина в условиях разной водообеспеченности у сортов и линий маша (Vigna radiata L.) // Академические исследования в области педагогических наук. 2022. № 10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-aminokisloty-prolina-v-usloviyah-raznoy-vodoobespechennosti-u-sortov-i-liniy-masha-vigna-radiata-l

9. Царев А. П., Царева Р. П., Царев В. А., Евлаков П. М. Биоэнергетические и репродукционные насаждения настоящих тополей в Центральном Черноземье России // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bioenergeticheskie-i-reproduktsionnye-nasazhdeniya-nastoyaschih-topoley-v-tsentralnom-chernozemie-rossii

10. Царев А. П., Царева Р. П., Царев В. А., Лаур Н. В. Некоторые результаты испытания тополей в центральной лесостепи // Лесохозяйственная информация. 2023. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-rezultaty-ispytaniya-topoley-v-tsentralnoy-lesostepi

11. Царев В. А., Царев А. П., Царева Р. П., Милигула Е. Н. Новые гибриды осины селекции «ВНИИЛГИСБИОТЕХ» и их испытание в Воронежской области // Бюллетень ГНБС. 2025. № 154. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novye-gibridy-osiny-selektsii-vniilgisbioteh-i-ih-ispytanie-v-voronezhskoy-oblasti

12. Цепляев А. Н., Попова А. А., Пальцева А. В. Эффективность размножения различных сортов декоративных кустарников методом зеленого черенкования в условиях Воронежской области // Лесоводственно-биологические основы устойчивости природных и искусственных фитоценозов: материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 21 февр. 2024 г. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2024. С. 249–254. DOI: 10.58168/FBFSNAP2024_249-254

13. Kim D., Hwang C.Y., Cho K.H. The fitness trade-off between growth and stress resistance determines the phenotypic landscape // BMC Biology. 2024. Vol. 22. P. 62. DOI: 10.1186/s12915-024-01856-7

14. Wang Z., Zhang Y., Wu Y., Lai D., Deng Y., Ju C., Sun L., Huang P., Wang C. CPK10 protein kinase regulates Arabidopsis tolerance to boron deficiency through phosphorylation and activation of BOR1 transporter // New Phytologist. 2024. Vol. 243. No. 5. P. 1795–1809. DOI: 10.1111/nph.19712

References

1. Blonskaya L. N., Muftakhova S. I., Baldenko M. G. Analysis of the condition of Bashkir pyramidal Berezina–Levashov poplar trees (Populus Nigra d × P. Nigra F. Italian Duroy) in conditions of technogenic pollution of Ufa // Actual problems of the forest complex. 2020. No. 43. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sostoyaniya-dereviev-topolya-bashkirskogo-piramidalnogo-berezina-levashova-populus-nigra-l-p-nigra-f-italica-duroi-v-usloviyah (date of request: 05/28/2025).

2. Gazdanova I. O., Gerieva F. T., Dzedaev H. T. Investigation of potato hybrids of VNC RAS for the presence of DNA markers of resistance to viruses and cyst-forming nematode // Bulletin of KrasGAU. 2022. № 7 (184). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gibridov-kartofelya-

vnts-ran-na-nalichie-dnk-markerov-ustoychivosti-k-virusam-i-tsistoobrazuyuschey-nematode (date of request: 07.10.2025).

3. Grodetskaya T. A., Yevlakov P.M., Isakov I. Yu. Analysis of the expression of stress resistance genes under conditions of drought on birch plants in the Central Chernozem region // Forestry Journal. 2020. № 2 (38). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ekspressii-genov-stressoustoychivosti-v-usloviyah-vozdeystviya-zasuhi-na-rasteniya-berezy-v-tsentralno-chernozemnom-regione

4. Zainchkovskaya A. N., Fomina E. A., Kushanov F. N., O Urbanovich Y. Expression of the TaDHN9-a TaDHN13 and TaDHN20 genes in spring wheat varieties in response to drought // Molecular and applied genetics. 2023. No. 1. Address: https://cyberleninka.ru/article/n/ekspressiya-genov-tadhn9-a-tadhn13-i-tadhn20-u-sortov-yarovoy-pshenitsy-v-otvet-na-zasuhu

5. Kryuchkov S. N., Solomentseva A. S., Romanenko A. K. Intraspecific crosses of isolated biotypes of the elm and poplar genera to obtain heterotic breeding forms // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. № 6 (235). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vnutrividovye-skreschivaniya-vydelennyh-biotipov-rodov-vyaz-i-topol-dlya-polucheniya-geterozisnyh-selektsionnyh-form

6. Nazarov A.M., Tuktarova I. O., Chetverikov S. P., Ivanov R. S., Timergalin M., Razanova N. A., Kudoyarova G. R. Recipes based on tanks and humates for reforestation and raising public awareness of terrestrial resources // Biosphere. 2023. № 4. URL: <url> https://cyberleninka.ru/article/n/preparaty-na-osnove-bakteriy-i-gumatov-dlya-lesovosstanovleniya-i-povysheniya-deponirovaniya-ugleroda-drevesnymi-rasteniyami

7. Putenigin V. P. The history of the Bashkir pyramidal poplar // Law, history, psychology and modernity: collection of articles of the IV International Scientific and Practical Conference. Penza: Penza State Agrarian University. Univ., 2023. pp. 233-236.

8. Satzhanov V. A., Azimov A. A., Ziev Z. M. Retention of proline amino acids in combination with diverse water in certs and lilies of Mach (Vigna radiata L.) // Academic research in the field of pedagogy. 2022. № 10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-aminokisloty-prolina-v-usloviyah-raznoy-vodoobespechennosti-u-sortov-i-liniy-masha-vigna-radiata-l

9. Tsarev A. P., Tsareva R. P., Tsarev V. A., Yevlakov P.M. Bioenergetic and reproductive plantings of real poplars in the Central Chernozem region of Russia // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Forest magazine. 2023. № 5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/bioenergeticheskie-i-reproduktsionnye-nasazhdeniya-nastoyaschih-topoley-v-tsentralnom-chernozemie-rossii

10. Tsarev A. P., R. Tsareva. P., V. Tsarev. A., Laur N. V. Some results of testing poplars in the central forest-steppe // Forestry information. 2023. No. 1. Address: https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-rezultaty-ispytaniya-topoley-v-tsentralnoy-lesostepi

11. Tsarev V. A., Tsarev A. P., Tsareva R. P., Miligula E. N. New aspen hybrids of VNIILGISBIOTECH breeding and their testing in the Voronezh region // Bulletin of GNBS. 2025. № 154. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novye-gibridy-osiny-selektsii-vniilgisbioteh-i-ih-ispytanie-v-voronezhskoy-oblasti

12. Tseplyaev A. N., Popova A. A., Paltseva A.V. The effectiveness of propagation of various varieties of ornamental shrubs by green cuttings in the Voronezh region // Forestry and biological foundations of the sustainability of natural and artificial phytocenoses: proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference, Voronezh, February 21, 2024. Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2024. pp. 249-254. DOI: 10.58168/FBFSNAP2024_249-254

13. Kim D., Hwang S.Y., Cho K.H. The balance between growth and stress resistance determines the phenotypic landscape // BMC Biology. 2024. Volume 22. Page 62. DOI: 10.1186/s12915.-024-01856-7

14 Wang Z., Zhang Yu., Wu Yu., Lai D., Deng Yu., Zhu S., Song L., Huang P., Wang S. CPK10 protein kinase regulates arabidopsis resistance to boron deficiency through phosphorylation and carrier activation BOR1 // New phytologist. 2024. Volume 243. No. 5. pp. 1795-1809. DOI: 10.1111/nph.19712

DOI: 10.58168/Forestry2025_480-487
УДК 630 232.12

ОТБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ КЛОНОВ ТОПОЛЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КАРБОНОВЫХ ПЛАНТАЦИЙ В ЦЧР

В.А. Царев, А.П. Царев[2], Р.П. Царева[3], Е.Н. Милигула[4]

[1]к.с.-х.н, старший научный сотрудник, [2]д.с.-х.н, главный научный сотрудник, [3]к.с.-х.н, ведущий научный сотрудник, [4]младший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, г. Воронеж, Россия

Аннотация. Представлены проблемы потепления климата и потенциал Российских лесов в поглощении и связывании парниковых газов. Приведены данные по росту и продуктивности 84 клонов тополей, произрастающих в ЦЧР. Отобраны наиболее продуктивные культивары, рекомендуемые при создании карбоновых плантаций. Среди них евро-американские сорта: ‘Брабантика-176’, ‘Бахельери’, ‘Регенерата’, ‘Гельрика’, ‘Вернирубенс’, ‘Каролинский-162’, ‘Сакрау-59’ и два межсекционных отечественных гибрида – ‘Э.с.-38’, ‘Берлинский-130’. Представлены данные по высоте, диаметру, и запасу древесины, а также плотность древесины и длина древесинного волокна.

Ключевые слова: тополь, лесная селекция, карбоновая плантация, запас древесины, плотность и длина древесинного волокна, ранжирование.

SELECTION OF PROMISING POPLAR CLONES FOR CARBON PLANTATIONS IN THE CENTRAL CHERNOZEM REGION

V.A. Tsarev[1], A.P. Tsarev[2], R.P. Tsareva[3], E.N. Miligula[4]

[1]Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, [2]Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, [3]Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, [4]Junior Researcher
All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Voronezh, Russia

Abstract. The problems of climate warming and the potential of Russian forests in absorbing and sequestering greenhouse gases are presented. Data on the growth and productivity of 84 clones of poplars growing in the Central Chernozem region are presented. The most productive cultivars recommended for the carbon plantations were selected, among them Euro-American varieties: ‘Brabantica-176’, ‘Bachellieri’, ‘Regenerata’, ‘Gelrika’, ‘Vernirubens’, ‘Karolinsky-162’, ‘Sacrau-59’ and two intersectional domestic hybrids – ‘E.s.-38’, ‘Berlinsky-130’. Data on the height, diameter, and stock of wood, as well as the density of wood and the length of the wood fiber are presented.

Keywords: poplar, forest tree breeding, carbon plantation, wood stock, density and length of wood fiber, ranking.

Введение. В последнее время в мире наблюдается общая тенденция потепления климата. Средняя температура земли поднимается каждое десятилетие. Имеющиеся данные метеонаблюдений в нашей стране позволяют проследить изменение температуры воздуха за последние 100 лет в любом регионе. Температурный анализ для Воронежской области показал, что средняя температура воздуха в регионе до 1976 г. колебалась в одном диапазоне.

© Царев В. А., Царев А. П., Царева Р. П., Милигула Е. Н., 2025

В последующие годы она начала повышаться. За последние 50 лет линия тренда среднесуточных температур существенно поднялась (с 6,4ºС в 1980 г. до 7,5ºС в 2003 г., и до 8,5 ºС – в 2021 г.) [1].

Данное повышение температуры воздуха связывается с увеличением роста выбросов парниковых газов в атмосферу. В 2021 г., по данным Международного исследовательского проекта *Global Carbon Digital*, мировые выбросы углекислого газа увеличились на 4,9 % и составили 36,7 млрд. т. в год [2].

В связи с увеличивающимся объемом выбросов парниковых газов (углекислый газ CO_2, метан CH_4, окись азота N_2O) лесные и другие экосистемы стали рассматриваться как способ связывания (депонирования) атмосферного углекислого газа. Часть углерода изымается из атмосферы растениями в результате процесса фотосинтеза и депонируется в стволах, ветвях, корнях и иной биомассе. По данным В. Родина, 1 га лесонасаждения (в среднем 300 деревьев) поглощает ежегодно 6,5 т углекислого газа и производит 5 т кислорода. Леса России являются крупным хранилищем и поглотителем углерода. Они поглощают в год до 2,5 млрд. т. углекислого газа [3].

Однако регионы юго-востока европейской части России, характеризуются засушливым климатом и низкой лесистостью, которые больше выбрасывают парниковых газов, чем их поглощают.

Главная задача в связи с потеплением климата – увеличить потенциал российских лесов в поглощении и связывании парниковых газов, реализации проекта по секвестрации углекислого газа, в том числе и путем лесоклиматических проектов [4]. Одним из типов лесоклиматических исследований является возможность реализации проекта, способствующего увеличению поглощения парниковых газов за счет интенсивного использования и воспроизводства лесов в рамках программы защитного лесоразведения на безлесных землях и увеличить долю версификации лесообеспечения на увеличение роста доли лиственных пород [5]. И тем самым, по мнению А. Кокорина, объем парниковых газов в РФ можно будет снизить на треть.

В связи с этим улучшить обстановку можно двумя путями: первый путь – снижение выбросов парниковых газов путем улучшения технологии производства продукции, к примеру путем расширения использования солнечной и ветровой энергии, перевода автомобильного транспорта на более широкое использование электродвигателей, использования передовых технологий в строительстве, отоплении и т.д.

Второй путь – это расширение площадей защитного лесоразведения, увеличение лесистости, увеличение объема поглощения парниковых газов за счет диверсификации доли лиственных пород и в первую очередь за счет быстрорастущих тополевых, так называемых “углеродных плантаций”.

В нашей стране есть огромное количество свободных земель, которые можно использовать для создания карбоновых плантаций.

Цель исследования. Изучить энергию роста различных клонов тополей на экспериментальных полигонах и отобрать быстрорастущие и высоко продуктивные, перспективные формы тополей, для создания “углеродных (карбоновых) плантаций” в ЦЧР, которые способны за короткий срок на минимальных площадях производить максимум биомассы и тем самым связывать парниковые газы.

Методика исследований. Изучение роста и продуктивности тополей проводилось на специально созданном испытательном объекте – Семилукском популетуме.

Посадка популетума осуществлялась зимними стеблевыми черенками. Для закладки популетума стеблевые черенки были получены из различных НИИ, ЛОС и ВУЗов бывшего СССР: ВНИИЛМ, ВНИАЛМИ, УкрНИИЛХА, СредАзНИИЛХ, КазСХИ, Астраханской ЛОС, МолдЛОС, Амурской ЛОС, Приссивашской ЛОС, Липецкой лесостепной ЛОС, Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ, Ленинградской ЛТА, Уманского СХИ, г. Мелитополя Запорожской области, г. Семилуки Воронежской области и др.

Площадь участка 4,6 га, размещение растений 4×5 м. Посадка проведена в 4-х кратной повторности. Всего было высажено 2 016 растений от 84 клонов тополей. В эксперимент было включено 6 белых пирамидальных тополей, 5 белых тополей с раскидистой формой кроны, 9 черных пирамидальных тополей и 32 культивара черных тополей с раскидистой формой кроны, 13 клонов бальзамических тополей и 19 межсекционных гибридов тополей отечественной и зарубежной селекции.

На данном участке проводились замеры высот и диаметров, определялась сохранность различных клонов тополей, плотность древесины и длина древесных волокон.

Замеры высот осуществлялись подеревно с помощью высотомера *Blume Leisse*, диаметров – мерной лентой. Объемы стволов определялись по таблицам *Hadži-Georgiev K., Gogušević M.* [6]. Запасы древесины рассчитывались по формуле:

$$\boldsymbol{W = \frac{V \times N \times S}{100}}, \quad (1)$$

где: $\boldsymbol{V}$ – объем ствола ($м^3$),

$\boldsymbol{N}$ – густота посадки (шт./га),

$\boldsymbol{S}$ – сохранность деревьев (%).

Оценка качества древесины проводилась по общепринятым методикам на боковых ветвях по Полубояринову О.И., Косиченко Н.Е. и Ширнину В.К. [7, 8].

Результаты исследований. Установлено, что из 84 испытываемых клонов тополей еще в ювенильном возрасте (в возрасте 5 лет) после первых сильных морозов зимы 1978/1979 г. из насаждений популетума выпали 9 клонов тополей. Это прежде всего представители итальянской, частично румынской и казахстанской селекции: ‘I-154’, ‘I-214’, ‘I-455’ (инв. №№ 7, 9, 15, 16, 17, 53), ‘Стремительный’ (инв. № 123), ‘Крупнолистный’ (инв. № 98), ‘Кзыл-Тан’ (инв. № 59).

В последующие годы выпали еще 7 клонов, в т.ч. все клоны тополя Болле (инв. №№ 137, 144, 145), алжирского (инв. №№ 1 и 25), т. ‘Полтавского’ (инв. № 14), черного пирамидального (инв. № X_3), т.е. все белые и некоторые черные пирамидальные тополя, интродуцированные из Астраханской ЛОС и УкрНИИЛХА.

Высокая сохранность (70 % и более) в 7-летнем возрасте была у 37 клонов, в т.ч. у 20 евро-американских культиваров, 10-ти клонов бальзамических тополей и 7-ми межсекционных гибридов.

Показатели роста отобранных тополей в этом возрасте представлены в табл. 1 и 2. Как видно из данных табл. 1, средняя высота у черных тополей с раскидистой формой кроны варьировала от 10,4 м (у т. ‘Мариландика’ инв. № X_5) до 13,0 м (у т. ‘Вернирубенс’). Средняя высота у культиваров этой группы в 7 лет была 11,9 м. Диаметры варьировали от 15,8 см (у т. ‘Робуста-236’) до 20,2 см (у т. ‘Регенерата’), а в среднем составляли 17,9 см.

Средняя высота у бальзамических тополей и межсекционных гибридов в 7 лет составляла 10,6 и 10,9 м, а средний диаметр – 14,5 и 15,5 см соответственно (табл. 2).

Средний запас древесины в 7 лет в целом по секциям варьировал от 41 $м^3$/га (в группе бальзамических) до 75 $м^3$/га (в группе черных тополей с раскидистой формой кроны). Наибольший запас древесины отмечен в группе евро-американских культиваров (до 94 $м^3$/га). Существенно им уступали по продуктивности как бальзамические тополя (41 $м^3$/га), так и межсекционные гибриды (53 $м^3$/га) (см. табл.1 и 2).

У местного тополя осокоря, который используется в качестве контроля, показатели роста существенно уступают интродуцентам и новому сорту ‘Э.с.-38’, выведенному в регионе (авторы проф. Вересин М. М. и проф. Царев А. П.). Средняя высота в 7 лет у осокоря была 10,2 м, диаметр,14,0 см. Запас древесины из-за низкой сохранности этого тополя в 7 лет был равен 41 $м^3$/га. Более наглядно запасы древесины можно видеть на диаграмме (рис. 1).

Анализ плотности древесины и длины древесинного волокна показал, что параметры плотности древесины у изучаемых тополей в группе евро-американских культиваров варьировала от 422 до 504 кг/м^3, в группе бальзамических тополей и межсекционных гибридов – от 366 до 495 кг/м^3. В среднем по секциям плотность древесины у евро-американских тополей была равна 456, у бальзамических – 439 и у межсекционных гибридов – 433 кг/м$^{3\cdot}$, то есть были достаточно близкими и не имели достоверных различий.

Длина древесинных волокон либриформа в группе евро-американских гибридов в среднем была равна – 801 мкм, у бальзамических – 658 мкм, у межсекционных гибридов – 791 мкм, т. е. варьирование было более существенным, что позволяет делать отбор клонов тополей с наиболее длинным древесинным волокном. Так, из табл. 1 и 2 видно, что максимальные показатели длины волокон (ранги 1-5), в группе черных евро-американских культиваров отмечены у ‘Брабантики-176’, ‘Бахельери’, ‘Регенераты’, ‘Робусты’, ‘Гельрики’ и др. (850-975 мкм), среди бальзамических – у волосистоплодного № 83, китайского, душистого и лавролистного (648-739 мкм), среди межсекционных гибридов – у сорта ‘Э.с.-38’, гибридов № 10 и № 300, у берлинского (704-875 мкм).

Таблица 1. Показатели роста и продуктивности черных тополей с раскидистой формой кроны в 7 лет, произрастающих на Семилукском популетуме (размещение 4×5 м)

№№ п/п	Наименование тополя	Инв. №№	Сохран-ность, %	Высота, м	Диаметр, см	Запас, м^3/га	Плот-ность древе-сины, кг/м^2	Длина древесин-ного волокна, мкм
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**7**	**9**	**11**	**13**
1	Бахельери	30	75	11,8	17,0	67	472	866
2	Брабантика-175	158	63	12,4	17,8	76	486	833
3	Брабантика-176	36	96	12,4	18,1	79	469	975
4	Брабантика-176	56	96	12,5	18,0	79	478	796
5	Вернирубинс	54	92	13,0	17,7	75	448	824
6	Гельрика	21	88	11,5	20,0	91	428	835
7	Гельрика	80	88	11,5	19,5	87	455	803
8	Каролинский-162	162	83	12,2	17,8	76	504	833
9	Мариландика-476	88	88	11,0	17,2	65	422	816
10	Мариландика	X_5	92	10,4	17,1	62	460	702
11	Регенерата	78	92	12,2	19,3	89	441	846
12	Регенерата	79	71	11,6	20,2	94	450	778
13	Регенерата	90	88	12,0	18,6	82	438	864
14	Регенерата	116	88	13,0	17,7	75	447	807
15	Робуста-195	33	79	12,2	17,9	77	470	975
16	Робуста-236	156	92	11,5	15,8	57	461	848
17	Робуста	57	92	11,8	17,7	73	459	859
18	Робуста	60	100	11,6	16,7	64	451	846
19	Робуста	66	88	11,5	16,6	63	476	798
20	Сакрау-59	161	88	12,3	16,5	65	453	702
Среднее по группе:			**87**	**11,9**	**17,9**	**75**	**456**	**801**
21	**Осокорь (контроль)**	**131**	**54**	**10,2**	**14,0**	**41**	**451**	**685**

Таким образом, при многолетних испытаниях на Семилукском популетуме выявлены клоны тополей, выпавшие из насаждений в первые годы исследований (16 клонов из 84, т.е. 19 %). Из оставшихся 68 клонов отобраны 31 форма с высокой сохранностью и высокими показателями роста и продуктивности, среди которых 20 клонов евро-американских культиваров, 6 клонов бальзамических тополей и 5 клонов межсекционных гибридов отечественной и зарубежной селекции (ранги 1-5). Все эти тополя можно рекомендовать как для защитных и промышленных насаждений, так и для создания карбоновых плантаций в регионе.

Многие из отобранных клонов тополей прошли испытания и в других регионах лесостепной, степной и полупустынной зон ЕТС [9-10].

В Волгоградской области испытания проводились в Кумылженском лесничестве Подтелковского лесхоза в пойме рек Кумылги и Песковатки и в Руднянском лесхозе на богаре. Испытывались 18 клонов, из них 2 бальзамических, 13 евро-американских культиваров и 2 межсекционных гибрида [9].

Сохранность тополей в пойменных условиях в 7 лет варьировала от 56 до 95 % и в среднем составила 75 %. Средняя высота была 24,2 м, диаметр – 28 см, запас древесины – 544 $м^3$/га. Наилучшие показатели продуктивности были отмечены у евро-американских культиваров: ‘Бахельери’, ‘Вернирубенса’, ‘Мариландики’, ‘Регенераты’, ‘Робусты’, ‘Сакрау-59’, ‘Серотины’. Из отечественных гибридов наибольшие запасы древесины в 7 лет были и у сорта ‘Э.с.-38’ [9].

Таблица 2. Ранговая оценка роста и продуктивности бальзамических тополей и межсекционных гибридов в 7 лет, произрастающих на Семилукском популетуме (размещение 4×5 м)

№№ п/п	Наименование тополя	Инв. №№	Сохранность, %	Высота, м	Диаметр, см	Запас, $м^3$/га	Плотность древесины, кг/$м^2$	Длина древесинного волокна, мкм
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**7**	**9**	**11**	**13**
I Бальзамические тополя								
1	бальзамический	X_6	17	10,1	14,0	41	366	739
2	волосистоплодный	45	24	11,5	14,2	46	431	606
3	волосистоплодный	83	24	11,5	14,6	49	424	728
4	волосистоплодный	84	22	11,1	14,8	49	434	639
5	волосистоплодный	110	23	11,0	13,9	43	445	626
6	душистый	100	24	9,1	11,8	27	467	652
7	китайский	85	24	11,1	16,0	57	480	648
8	китайский	133	24	12,5	16,6	7	495	597
9	лавролистный	99	24	11,0	13,7	42	440	723
10	Максимовича	86	19	10,0	14,9	46	405	621
Среднее:		**78**	**23**	**10,9**	**14,5**	**41**	**439**	**658**
II Межсекционные гибриды								
1	Берлинский	130	20	10,5	16,1	55	419	704
2	Ивантеевский	46	24	10,5	15,7	52	407	750
3	Ленинградский	104	19	8,6	11,6	25	433	774
4	Невский	105	24	10,2	13,0	35	426	652

5	Э.с.-38	44	22	11,8	16,8	66	461	864
6	Э.с.-38	94	24	11,5	17,4	69	461	875
7	Гибрид №300	49	24	11,8	16,5	64	448	846
8	Гибрид №10	106	19	10,0	16,5	56	405	866
Среднее:			**22**	**10,6**	**15,5**	**53**	**433**	**791**

Установлено, что на рост и продуктивность тополей в большей степени оказывало влияние происхождение (генотип). Влияние генотипа подтверждается дисперсионным анализом. Сила влияния фактора “генотип” на рост тополей и продуктивность составила 48 %.

Сортоиспытания различных клонов и сортов тополей, проведенные в полупустынной зоне Астраханской области и на Нижней Волге, показали также преимущество евро-американских черных тополей над бальзамическими и некоторыми межсекционными гибридами [10].

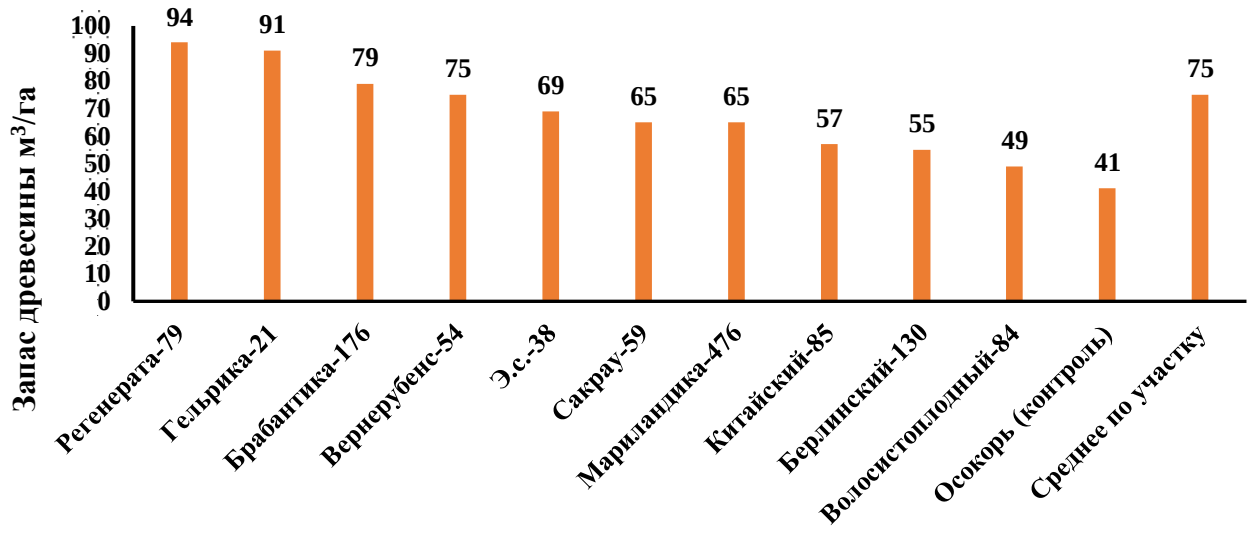


Рис. 1. Диаграмма запасов стволовой древесины у отселектированных тополей, произрастающих на Семилукском популетуме в возрасте 7 лет.

Таким образом, негативное влияние потепления климата возможно путем расширения площадей лесоразведения, что приведет к увеличению лесистости и объема поглощения парниковых газов за счет диверсификации доли лиственных пород и, в первую очередь, быстрорастущих тополевых, так называемых “углеродных (карбоновых) плантаций”. При этом в ЦЧР наиболее продуктивными из испытываемых 84 клонов тополей оказались евро-американские культивары черных тополей с раскидистой формой кроны. Среди них можно выделить тополя ‘Бахельери’, ‘Брабантика’, ‘Вернирубенс’, ‘Гельрика’, ‘Каролинский’, ‘Мариландика’, ‘Регенерата’, ‘Робуста’ и ‘Сакрау-59’. Из отечественных гибридов лучшие показатели продуктивности древесины отмечены у межсекционных гибридов Берлинского-130 и ‘Э.с.-38’. Отмеченные клоны можно рекомендовать для создания карбоновых плантаций в ЦЧР.

Список литературы

1. Температура воздуха и осадков по месяцам и годам, Воронеж (Воронежская область, Россия). – URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/34123.htm (Дата обращения 17.07.25).

2. Деревья против парниковых газов: как работают лесоклиматические проекты. – URL: https://dzen.ru/a/Y3YWtMYT93qWfBCd (Дата обращения 17.07.25).

3. Декарбонизация как путь для сдерживания изменения климата. – URL: https://teplokarta.ru/dekarbonizacziya-kak-put-dlya-sderzhivaniya-izmeneniya-klimata (Дата обращения 17.07.25).

4. Крейденко Т. Лесоклиматические проекты как средство декарбонизации российской экономики // Журнал “Лесной комплекс”. – URL: https://forestcomplex.ru/forestry/lesoklimaticheskie-proekty-kak-sredstvo-dekarbonizacii-rossijskoj-ekonomiki/ (Дата обращения 17.07.25).

5. Декарбонизация СОНАР-2050. Как ЕАЭС адаптируется к европейской политике углеродной нейтральности. – URL: https://www.sonar2050.org/publications/dekarbonizaciya/ (Дата обращения 17.07.25).

6. Hadži-Georgiev K., Gogušević M. Dvolazne tabele mass za topola klona Populus euramericana cv. I-214 u Gevgeliskom području [*Two-way mass tables for Poplar clones Populus euramericana cv. I-214 in the Gevgeli area*]. Topola [*Poplar*], 1972. T. XVI. No. 90. P. 25–29. (in Serbian-Croatian).

7. Полубояринов О.И. Плотность древесины. Лесная пром-сть М. 1976. – С. 160. – URL: https://rusneb.ru/catalog/002072_000044_ARONB-RU_Архангельская+ОНБ_DOLIB_-510260/?ysclid=lu2fdkfql8668761124. (Дата обращения 31.07.25).

8. Косиченко Н.Е., Ширнин В.К. Ранняя диагностика качества древесины тополей по ее структуре. Лесоведение М., 1973. – С. 78-83.

9. Царева Р.П., Царев В.А. Результаты многолетних испытаний различных форм и гибридов тополей в Волгоградской области // Труды Кубанского Государственного Аграрного Университета. – Вып. 4 (73), 2018 : Материалы четвертой международной научно-практической конференции “Инновационные технологии в области генетики, селекции, семеноводства и размножения растений” – Ялта: КубГАУ, 3-8 сентября 2018. – Том 2. – С. 244-248.

10. Царев А.П., Царев В.А., Царева Р.П. Возможности лесовыращивания в Астраханской полупустыне // Научный форум “Биотехнология: наука, практика и инноваций” (Астрахань, 15-16 декабря 2021 года). – Астрахань: ФГБОУ ВО Астраханский госуниверситет, 2022. – С. 68-72.

References

1. Air and precipitation temperature by month and year, Voronezh (Voronezh Region, Russia). – URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/34123.htm (Accessed 17.07.25).

2. Trees against greenhouse gases: how forest climate projects work. – URL: https://dzen.ru/a/Y3YWtMYT93qWfBCd (Accessed 17.07.25).

3. Decarbonization as a way to curb climate change. – URL: https://teplokarta.ru/dekarbonizacziya-kak-put-dlya-sderzhivaniya-izmeneniya-klimata (Accessed 17.07.25).

4. Kreidenko T. Forest-climatic projects as a means of decarbonization of the Russian economy // Journal “Forest Complex". – URL: https://forestcomplex.ru/forestry/lesoklimaticheskie-proekty-kak-sredstvo-dekarbonizacii-rossijskoj-ekonomiki / (Accessed 17.07.25).

5. Decarbonization of SONAR-2050. How is the EAEU adapting to the European carbon neutrality policy? – URL: https://www.sonar2050.org/publications/dekarbonizaciya/ (Accessed 17.07.25).

6. Hadži-Georgiev K., Gogušević M. Dvolazne tabele mass za topola klona Populus euramericana cv. I-214 u Gevgeliskom području [Two-way mass tables for Poplar clones Populus euramericana cv. I-214 in the Gevgeli area]. Topola [Poplar], 1972. T. XVI. No. 90. P. 25–29. (in Serbian-Croatian).

7. Poluboyarinov O.I. Wood density. Lesnaya prom-st M. 1976. – p. 160. – URL: https://rusneb.ru/catalog/002072_000044_ARONB-RU_Arkhangelsk+ONB_DOLIB_-510260/?ysclid=lu2fdkfql866876112 (Accessed 31.07.25).

8. Kosichenko N.E., Shirnin V.K. Early diagnosis of poplar wood quality by its structure. Forest Science, Moscow, 1973, pp. 78-83.

9. Tsareva R.P., Tsarev V.A. The results of long-term tests of various forms and hybrids of poplars in the Volgograd region // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. – Issue 4 (73), 2018 : Proceedings of the fourth international scientific and practical conference “Innovative technologies in the field of genetics, breeding, seed production and plant propagation" – Yalta: KubGAU, September 3-8, 2018. – Volume 2. – pp. 244-248.

10. Tsarev A.P., Tsarev V.A., Tsareva R.P. The possibilities of forest cultivation in the Astrakhan semi-desert // Scientific Forum “Biotechnology: science, practice and innovation" (Astrakhan, December 15-16, 2021). – Astrakhan: Astrakhan State University, 2022. – pp. 68-72.

DOI: 10.58168/Forestry2025_488-494
УДК 630 323

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ХАРВЕСТЕРНОЙ ГОЛОВКИ

С.Е. Арико
к.т.н., доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий
лесопромышленного производства, учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь
А.А. Гордейчик
аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий
лесопромышленного производства, учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь
С.А. Войнаш
старший преподаватель кафедры архитектуры, реставрации и дизайна,
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия
И.Н. Гарькин
к.т.н., заведующий кафедрой кафедра архитектуры, реставрации и дизайна,
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия
В.А. Соколова
к.т.н., заместитель директора по перспективному развитию и инновациям,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация.
С целью определения влияния природно-производственных факторов на требуемую мощность при выполнении технологических операций, связанных с захватом и валкой деревьев, а также обрезкой сучьев и раскряжевкой хлыстов различных пород на сортименты в статье представлена разработанная методика расчета и выбора основных параметров харвестерной головки на основе рассмотрения особенностей выполнения технологических операций отдельными узлами данного технологического оборудования.

Ключевые слова: исследование, харвестерная головка, усилие, мощность, протаскивание, пиление, валка.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE CHOICE OF HARVESTER HEAD PARAMETERS

S.E. Ariko
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology
Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus
A.A. Gordeychik
Postgraduate Student of Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology,
Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

© Арико С. Е., Гордейчик А. А., Войнаш С. А., Гаркин И. Н., Соколова В. А., 2025

S.A. Voinash
senior lecturer of Department of Architecture, Restoration and Design, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia
I.N. Garkin
Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Architecture, Restoration and Design, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia
V.A. Sokolova
Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Prospective Development and Innovations, Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russia

Abstract.
To determine the influence of natural production factors on the required capacity when performing technological operations related to capturing and felling trees, as well as pruning branches and bucking whips of various breeds for sorting, the article presents the developed methodology for calculating and selecting the main parameters of the harvester head, based on consideration of the features of performing technological operations by individual nodes of this technological equipment.

Keywords: research, harvester head, force, power, pulling, sawing, felling.

Необходимый уровень безопасности и эффективности эксплуатации харвестеров при выполнении технологических операций должен обеспечиваться за счет конструкционной надежности и правильного выбора техническими параметрами отдельных ее элементов [1–3]. К наиболее ответственным из них относятся зажимные рычаги, которые обеспечивают удержание дерева при валке, его перемещении, обрезке сучьев и раскряжевке. Наибольшие нагрузки зажимные рычаги испытывают в процессе создания предварительного натяга. При этом создаваемое усилие должно в 1,2–1,4 раза превышающать вес обрабатываемого дерева [3–5], что позволяет уменьшить затрачиваемую на пиление мощность и образование сколов комлевой части дерева за счет исключения зажима пильного механизма. Выполнение данного условия влечет за собой необходимость увеличения усилия прижатия сучкорезных ножей, что вызывает возникновение дополнительных сопротивлений, а также проскальзывание дерева в протаскивающем механизме. В связи этим с целью реализации требуемого тягового усилия при обрезке сучьев необходимым является увеличения усилия прижатия подающих вальцов, что приведет к снижению скорости протаскивания дерева либо необходимости потребелния большей мощности.

Затрачиваемую на протаскивание при обрезке сучьев мощность $N_{пр}$ (Вт) можно определить по формуле:

$$N_{пр} = \frac{F_{пр} \cdot \nu_{ср}^{пр}}{\eta_1}, \quad (1)$$

где $F_{пр}$, $\nu_{ср}^{пр}$ – усилие и средняя скорость протаскивания дерева в процессе очистки ствола от сучьев, Н, м/с; η_1 – КПД подающего механизма.

При этом усилие, необходимое для протаскивания дерева в процессе очистки ствола от сучьев, можно определить по расчетной схеме (рисунок 1), которая учитывает, что при исследовании процесса протаскивания часть веса дерева, расположенная в харвестерной головке, рассматривается равно распределенной между точками соприкосновения с подвижными сучкорезными ножами и протаскивающими вальцами. Учитывая направления действия сил, возникающие коэффициенты трения и качения, в общем виде усилие, необходимое для протаскивания дерева в процессе очистки ствола от сучьев, имеет вид:

$$F_{\text{пр}} = n_1 \cdot (F_{\text{пн}} + \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{n_1 + n_2}) \cdot \mu_1 + (0,25 \cdot (F_{\text{пн}} \cdot n_1 + F_{\text{пв}} \cdot n_2) - \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{2}) \cdot (\mu_1 + \mu_2) +$$

$$+ n_2 \cdot (F_{\text{пв}} + \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{n_1 + n_2}) \cdot \mu_3 + Q_{\text{д}} \cdot (1-k) \cdot f_{\text{кр}} + Q_{\text{д}} \cdot \frac{a}{g} + 1575 \cdot 10^3 \cdot \text{a}_{\text{п}} \cdot \text{a}_{\delta} \cdot n_{\text{с}} \cdot d_{\text{с}}^2, \quad (2)$$

где n_1, n_2 – количество приводных ножей и подающих роликов, шт; $F_{\text{пн}}$ – усилие прижатия подвижных сучкорезных ножей, которое составляет 850–950 Н [6]; $Q_{\text{д}}$ – вес дерева, Н; k – доля силы тяжести дерева приходящаяся на захват; μ_1 – коэффициент трения сучкорезных ножей по коре; μ_2, μ_3 – коэффициенты сопротивления движению ствола по опорному ролику и приводным вальцам; $F_{\text{пв}}$ – усилие прижатия приводных вальцов, Н; $f_{\text{кр}}$ – коэффициент сопротивления перемещению вершинной части дерева по поверхности лесосеки; a – ускорение дерева при протаскивании, м/с^2; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $\text{a}_{\text{п}}$, a_{δ} – поправочные коэффициенты на породу и угол резания [5–6]; $n_{\text{с}}$ – количество одновременно срезаемых сучьев, шт.; $d_{\text{с}}$ – диаметр сучьев, м.

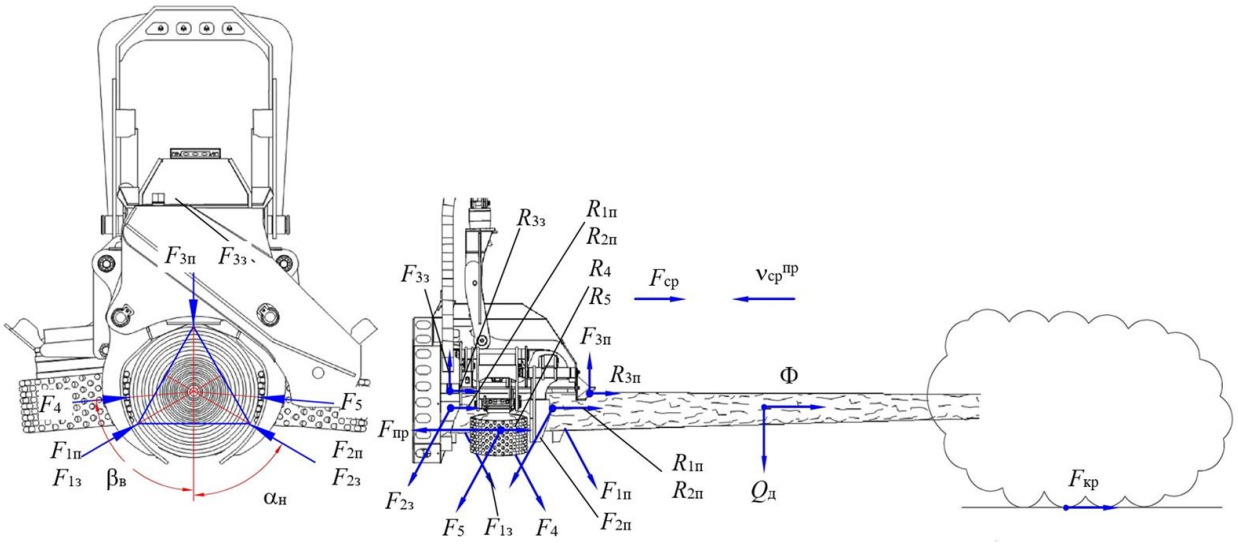


Рисунок 1 – Расчетная схема протаскивания дерева через сучкорезные ножи при обрезке сучьев

При этом учитывается, что привод пары ножей и вальцов большинства валочно-сучкорезно-раскряжевочных головок осуществляется одним гидроцилиндром или гидроцилиндрами одиного типоразмера, получаем

$$F_{1\text{п}} = F_{2\text{п}} = F_{1\text{з}} = F_{2\text{з}} = F_{\text{пн}}; \quad F_4 = F_5 = F_{\text{пв}}, \quad (3)$$

где $F_{1\text{п}}$, $F_{2\text{п}}$, $F_{1\text{з}}$, $F_{2\text{з}}$ – нормальные силы, действующие на передние и задние подвижные сучкорезные ножи, Н; F_4, F_5 – силы, действующие на подающие вальцы, Н;

Тогда величины рассматриваемых сил сопротивления определяются следующим образом:

$$R_{1\text{п}} = R_{1\text{з}} = R_{2\text{п}} = R_{2\text{з}} = (F_{\text{пн}} + \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{n_1 + n_2}) \cdot \mu_1, \; R_{3\text{п}} = (0,25 \cdot (F_{\text{пн}} \cdot n_1 + F_{\text{пв}} \cdot n_2) - \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{2}) \cdot \mu_1,$$

$$R_{3\text{з}} = (0,25 \cdot (F_{\text{пн}} \cdot n_1 + F_{\text{пв}} \cdot n_2) - \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{2}) \cdot \mu_2, \; R_4 = R_5 = (F_{\text{пв}} + \frac{Q_{\text{д}} \cdot k}{n_1 + n_2}) \cdot \mu_3, \quad (4)$$

где $R_{1п}$, $R_{2п}$, $R_{1з}$, $R_{2з}$, $R_{3п}$ – силы сопротивления, действующие на передние, задние подвижных и неподвижный сучкорезные ножи, Н; R_4, R_5 и $R_{3з}$ – силы сопротивления, действующие на подающие вальцы и опорный (поддерживающий) ролик, Н.

Симметричное действие сил $F_{1п}$, $F_{2п}$, $F_{1з}$, $F_{2з}$, F_4 и F_5 относительно продольной оси харвестерной головки, а также расположение подающих вальцов посередине расстояния между неподвижным сучкорезным ножом и опорным роликом позволяет сделать допущение о равенстве нормальных реакций $F_{3п}$ и $F_{3з}$.

Исходя из конструкцивных особенностей технологического оборудования и специфики выполняемых операций, влияющих на эксплуатационные свойства, необходимым является определение мощности, которая затрачивается на привод харвестерной головки в процессе срезания дерева. Данная величина $N_в$ (Вт) включает в себя затраты мощности на резание древесины цепным инструментом, надвигание пильной шины и определяется по формуле (5).

$$N_в = \frac{F_{вз} \cdot V}{\eta_2} + \frac{F_н \cdot \nu}{\eta_3}, \quad (5)$$

где $F_{вз}$ – усилие на ведущей звездочке, Н; V – скорость резания, м/с; η_2 и η_3 – КПД передачи от двигателя к цепи и механизму надвигания пильной шины; $F_н$ – усилие надвигания пильной шины, Н.

Затраты мощности на привод зажимных рычагов $N_{зр}$ (Вт) при равенстве скоростей зажима сучкорезных ножей $\nu_з$ (м/с) и подающих вальцов определяется как

$$N_{зр} = \frac{(n_1 \cdot F_{пн} + n_2 \cdot F_{пв}) \cdot \nu_з}{\eta_4}, \quad (6)$$

где η_4 – КПД передачи от двигателя к приводу захвата.

На основе проведенных исследований влияния различных факторов на выбор параметров харвестерной головки получены закономерности в виде намограммы (рисунок 2), отражающие связь между основными характеристиками насаждений (пародный состав, средний объем хлыста), конструкцивными особенностями и отдельными основополагающими техническими параметрами валочно-сучкорезно-раскряжевочного технологического оборудования.

Исследованиями установлено, что в зависимости от породного состава и среднего объема хлыста, который в сваю очередь зависит от условий произростания и возраста насаждений, требуемое усилие на обрезку сучьев изменяется в широком диапазоне. При обработке деревьев со средним объемом хлыста 0,2 м^3 величина усилия протаскивания $F_{пр}$ (Н) дерева в процессе обрезки сучьев достигает 14,9 кН для сосны и 10,1 кН для березы (рисунок 2). При этом для протаскивания дерева со средней скоростью $\nu_{ср}^{пр}$ 2,7–5,2 м/с потребляемая мощность составляет 47–91 кВт. Мощности, которая затрачивается на привод захватных рычагов $N_{зр}$ и механизма срезания дерева $N_в$ составляет 4–7 кВт и 12–14 кВт соответственно. Двухкратное увеличение объема обрабатываемого древостоя (0,4 м^3) приводит к необходимости увеличения усилия протаскивания до 25 кН, а мощности до 153 кВт. Учитывая, полученные данные установлено, что полная мощность, затрачиваемая на привод харвестерной голоки, должна на 10–15% превышать мощность привода протаскивающего механизма.

Учитывая вышесказанное при выборе параметров харвестреной головки первоочередное внимание, следует уделять анализу условий эксплуатации. Основным параметров, определяющих требуемые силовые и мощностные характеристики технологического оборудования, является средний объем хлыста, который регламентирует требуемое усилие протаскивания. При этом для привода протаскивающих вольцов требуемая мощность может находится в достаточно широком диапазоне, что в конечном итоге влияет на выбор устанавливаемого двигателя или эффективность эксплуатации харвестера, на котором осуществляется замена харвестерной головки.

При выборе данного технологического оборудования следует учитывать, что скорость протаскивания зависит от количества сучьев и длины выпиливаемых сортиментов. Так при

проведении рубок в насаждениях, имеющих более высокий класс бонитета (Ia, I) и возрост обеспечиваются условия реализации максимальной скорости протаскивания (до 5,2 м/с), что позволяет устанавливать более мощные гидромоторы привода (харвестерные головки) и двигателя внутреннего сгорания на лесные машины, обеспечивая тем самым существенное увеличение производительности и эффективности эксплуатации технологичского оборудования и харветера в целом. Снижение возраста и класса бонитета приводит не только к снижению среднего объема хлыста, но и длины выпиливаемых сортиментов, что не позволяет реализавать максимальную скорость протаскивания [7]. В данном случае следует ориентироваться на кривые (рисунок 2), отражающие зависимость мощности затрациваемой на привод протаскивающего механизма от средней или минимальной скорости протаскивания. Это обеспечит максимальную загрузку двигателя лесной машины и эффективную ее эксплуатацию.

Исходя из диаметра обрабатываемого дерева на высоте 1,3 м $d_{1,3}$ (м) и величины раскрытия сучкорезных ножей $D_{сн}$ (м) представленная номограмма, позволяет определять ориентировочную массу харвестерной головки $m_{зсу}$ (кг), которая оказывает существенное влияние на устойчивость харвестера и выбор вылета манипулятора, а также габаритно-массовых параметров лесной машины. Так для обработки древостоя объемом 0,2 м^3 требуется харвестерная головка массой около 530 кг, а 0,4 м^3 – 650 кг. При этом, следует ориентироваться на средние значениея величины открытия сучкорезных ножей, так как их минимальное значения снижает производительность ввиду увеличения времени на наведение харвестерной головки на дерево, а увеличение данного параметра увеличивает время их закрытия и открытия, вес технологического оборудования и машины в целом, а также может провоцировать операторов к обработке древостоя, параметры которого превышают технически допустимые значения.

Полученные граффические зависимости имеют схожий характер с представленными ранее материалами [3,8], а также близкие значения в диапазоне совпадения параметров среднего объема хлыста на рубках главного и промежуточного пользования (до 0,3 м^3) при прочих аналогичных условиях эксплуатации технологического оборудования харвестера.

Заключение

На онове имеющихся данных разработана и приведена методика выбора праметров захватно-срезающего устройства на примере харвестерной головки, которая позволяет определить силовые и мощностные параметры данного технологического оборудования с учетом обеспечения его эффективной работы в заданных природно-производственных условиях.

Полученные результаты и представленная номограмма позволяют быстро и с достаточной точностью определять параметры харвестерных головок в зависимости от породного состава и среднего объема насаждений, что в конечном итоге позволяет производителям новой лесозаготовительной техники сократить время их разработки, а также снизить объем доработки опытного образца. Для эксплуатирующих организаций полученные результаты являются актуальными в виду возможности подбора харвестеров или харвестерных головок, в случае их замены, для конкрентых условий эксплуатации.

Список литературы

1. Сенькин В.А. Обоснование параметров оборудования многооперационных машин при сортиментной заготовке древесины: автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.21.01; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М.Кирова. – СПб., 2006. 20 с.

2. Zimelis A., Sisenis L., Sarmulis Z., Ariko S. Technology and energy balance in stump harvesting with MCR 500 // Engineering for rural development: 17th International Scientific Conference, Jelgava, 23–25 May 2018 / Latvia University of Life Sciences and Technologies Faculty of Engineering, Latvian Academy of Agricultural and Forestry Scieces. – Jelgava, Latvia, 2018. pp. 1395–1400. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N162.

3. Арико С.Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины для рубок промежуточного лесопользования: автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.21.01; Белорусский государственный технологический университет. – Минск, 2012. – 157 с.

4. Кушляев В.Ф. Лесозаготовительные машины манипуляторного типа. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 248 с.

5. Матвейко А.П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства: учебник. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 447 с.

6. Федоренчик А.С., Турлай И.В. Харвестеры: учеб. пособие для студентов вузов. – Минск: БГТУ, 2002. – 172 с.

7. Давиданс М., Савельев А., Сармулис З., Ребокс Д., Арико С.Е. Обработка нетипичных деревьев харвестером // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы международной научно-технической конференции, Минск, 26–28 апреля 2017. – Минск: БГТУ, 2017. – С. 132-134.

8. Голякевич С.А., Арико С.Е., Гороновский А.Р., Мохов С.П., Пищов С.Н. Моделирование работы технологического оборудования харвестера на операции обрезки сучьев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: материалы Междунар. заочной науч.-техн. конф., Воронеж, 17–19 марта 2015 г. / Федеративное гос. бюдж. образовательное учрежд. высш. проф. образования «Воронеж. гос. лесотехн. акад.»; редкол.: В.М. Бугаков (гл. ред.) [и др.]. – Воронеж, 2015. – №2 ч. 1 (13–1). – С. 195-199.

References

1. Senkin, V. A. (2006). *Obosnovanie parametrov oborudovaniia mnogooperatsionnykh mashin pri sortimentnoi zagotovke drevesiny* [Justification of the parameters of multi-operation machine equipment for cut-to-length wood harvesting] (Publication No. 05.21.01) [Abstract of candidate's dissertation, Saint Petersburg State Forestry Technical University named after S.M. Kirov].

2. Zimelis, A., Sisenis, L., Sarmulis, Z., & Ariko, S. (2018). Technology and energy balance in stump harvesting with MCR 500. In *Engineering for rural development: 17th International Scientific Conference, Jelgava, 23–25 May 2018* (pp. 1395–1400). Latvia University of Life Sciences and Technologies. URL: https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N162.

3. Ariko, S. E. (2012). *Obosnovanie parametrov valochno-suchkorezno-raskriazhevochnoi mashiny dlia rubok promezhutochnogo lesopol'zovaniia* [Substantiation of the parameters of a feller-delimber-bucker machine for intermediate cutting] (Publication No. 05.21.01) [Abstract of candidate's dissertation, Belarusian State Technological University].

4. Kushliaev, V. F. (1981). *Lesozagotovitel'nye mashiny manipuliatornogo tipa* [Logging machines of the manipulator type]. Lesnaia promyshlennost.

5. Matveiko, A. P. (2006). *Tekhnologiia i oborudovanie lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of logging production]. Tekhnoperspektiva.

6. Fedorenchik, A. S., & Turlai, I. V. (2002). *Kharvestery* [Harvesters]. Belarusian State Technological University.

7. Davidans, M., Savelev, A., Sarmulis, Z., Reboks, D., & Ariko, S. E. (2017). Obrabotka netipichnykh derev'ev kharvesterom [Processing of atypical trees with a harvester]. In Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniia: materiały mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, Minsk, 26–28 aprelia 2017 (pp. 132–134). Belarusian State Technological University.

8. Goliakevich, S. A., Ariko, S. E., Goronovskii, A. R., Mokhov, S. P., & Pishchov, S. N. (2015). Modelirovanie raboty tekhnologicheskogo oborudovaniia kharvestera na operatsii obrezki suk'ev [Modeling of the harvester's technological equipment operation at the branch trimming stage]. In V. M. Bugakov (Ed.), Aktual'nye napravleniia nauchnykh issledovanii XXI veka: teoriia i praktika: materiały Mezhdunarodnoi zaochnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, Voronezh, 17–19 marta 2015 g. (Vol. 2, No. 13-1, pp. 195–199). Voronezh State Forestry Academy.

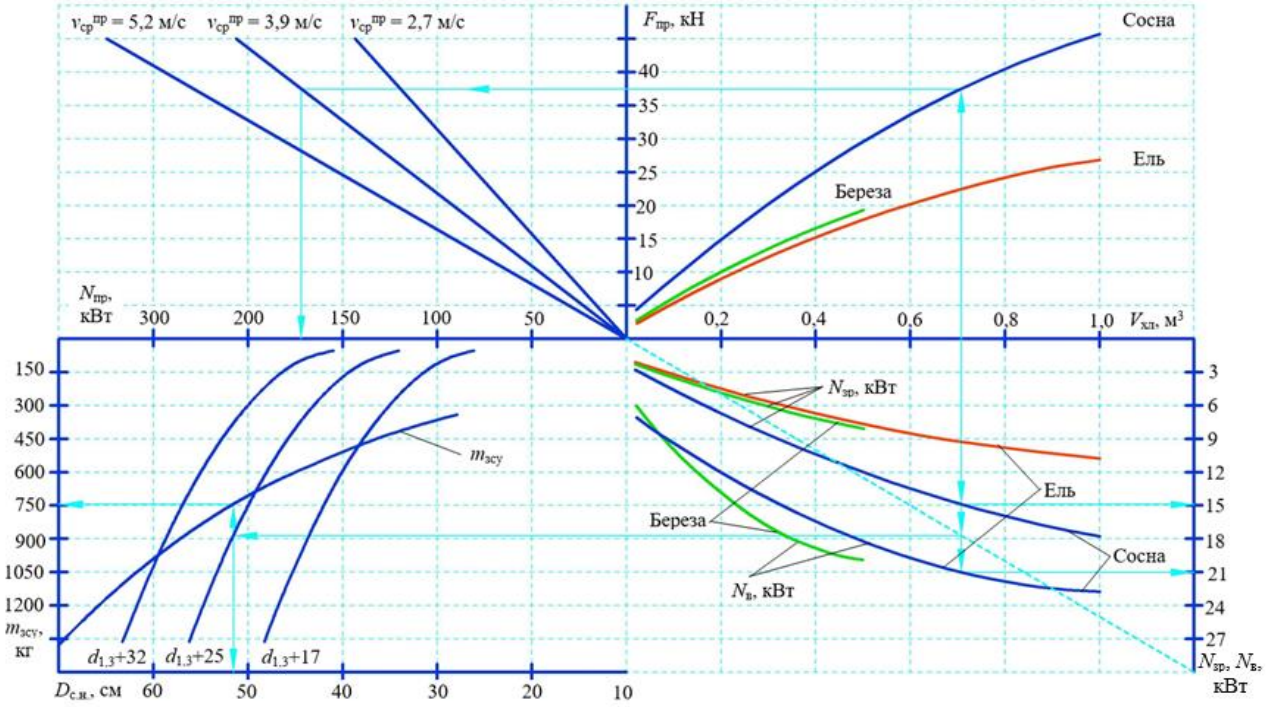


Рисунок 2 – Номограмма определения параметров харвестерной головки

DOI: 10.58168/Forestry2025_495-500
УДК 630 812

АНАЛИЗ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Е.А. Баканач
магистрант кафедры технологии лесозаготовительных производств,
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

С.А. Угрюмов
д.т.н., профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств,
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В данной статье исследован показатель сбега древесины при лесозаготовках многооперационными лесными машинами, применительно к типичным условиям Северо-Западного Федерального округа. Были изучены размерные параметры сортиментов, заготовленных с применением валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин, осуществляющих лесозаготовки в Ленинградской области и в Республике Карелия. В ходе исследований был вычислен средний сбег стволов заготовленных сортиментов в зависимости от диаметра в комле. Установлена изменчивость сбега, которая определяется климатическими и почвенными особенностями произрастания деревьев по регионам Северо-Западного Федерального округа.

Ключевые слова: лесозаготовка, многооперационные лесные машины, сортимент, отчетные данные, сбег древесины.

ANALYSIS OF THE OPERATION OF MULTIOPS FOREST MACHINES IN THE NORTH-WEST FEDERAL DISTRICT

E.A. Bakanach
Master's student of the Department of Logging Technology,
S.M. Kirov St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg, Russia

S.A. Ugryumov
Dr. of Engineering, Professor of the Department of Logging Technology,
S.M. Kirov St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg, Russia

Abstract. This article studies the run-off of wood during logging with multi-operation forest machines, in relation to typical conditions of the North-Western Federal District. The dimensional parameters of the cut-overs, harvested with the use of felling-bark-cutting-and-splitting machines, carrying out logging in the Leningrad Region and in the Republic of Karelia, were studied. During the research, the average run-off of the cut-overs, depending on the diameter at the base, was calculated. The variability of the runoff has been established, which is determined by the climatic and soil characteristics of tree growth in the regions of the North-Western Federal District.

Keywords: logging, multi-operational forest machines, assortment, reporting data, wood runoff.

© Баканач Е. А., Угрюмов С. А., 2025

В России основная часть древесины заготавливается с применением многооперационных лесных машин (харвестеров и форвардеров) по скандинавской технологии. Такие машины оборудованы бортовыми компьютерами для контроля объема, размеров и классификации качества и породы заготавливаемой древесины [1]. Анализ отчетных данных лесозаготовительных машин является важным и актуальным направлением исследований в сфере лесопромышленного комплекса.

Вопрос своевременного контроля размерно-качественных характеристик заготовленной древесины, на основе которого можно оперативно корректировать работу лесозаготовительной техники, является актуальным, а его решение позволяет повысить эффективность лесозаготовки с уменьшением издержек производства [2].

Целью работы является исследование параметра сбега древесины при лесозаготовках многооперационными лесными машинами, применительно к типичным условиям Северо-Западного Федерального округа.

В ходе исследования были изучены размерные параметры сортиментов (в том числе сбег древесины), заготовленных с применением валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин на базе гусеничных экскаваторов Caterpillar и Komatsu с харвестерной головкой LogMax 6000, оснащенных бортовыми компьютерами Parker Motomit IT 6,5 и осуществляющих лесозаготовки в Ленинградской области и в Республике Карелия. Были проанализированы отчетные данные лесозаготовок в Волховском, Лодейнопольском, Подпорожском и Олонецком лесничествах.

Для анализа и визуализации отчетных данных с бортовых компьютеров многооперационных лесных машин составлена программа на языке Python (версия 3.9), которая может быть использована как рабочее приложение для сотрудников лесозаготовительных предприятий [3]. Программа позволяет обрабатывать массивы данных из файлов, выгруженных из бортовых компьютеров в формате stm., производить систематизацию полученных данных, выполнять расчет статистических характеристик анализируемых параметров работы машин, а также визуализировать их в виде схем и графиков.

В ходе исследований был вычислен средний сбег стволов сортиментов хвойных пород в зависимости от диаметра в комле в виде столбчатой диаграммы (рис. 1) и виде диаграммы рассеяния (рис. 2). При расчете среднего сбега не учитывался брак, так как его учет приводит к аномальным значениям (например фиксация аномально увеличенного диаметра харвестерной головкой в месте наличия сучка).

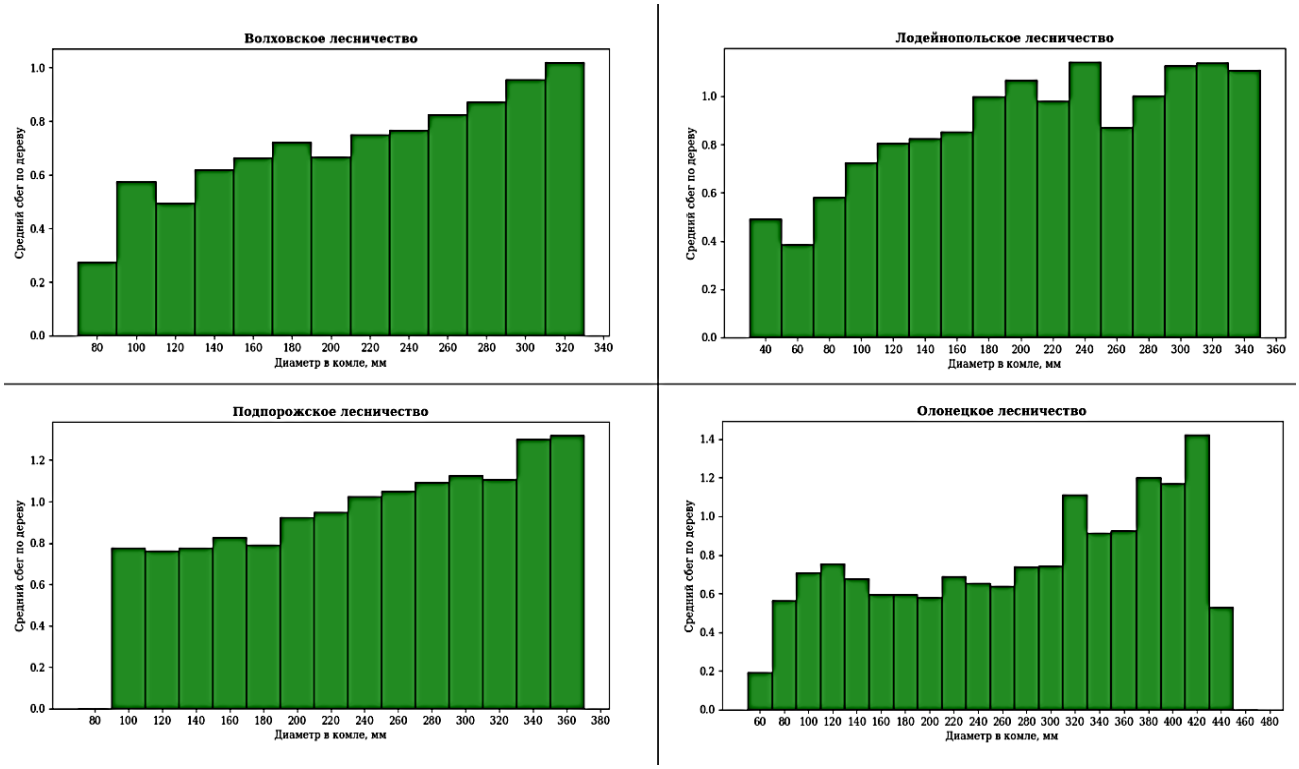


Рисунок 1. Зависимость среднего сбега ствола от диаметра сортимента в комле

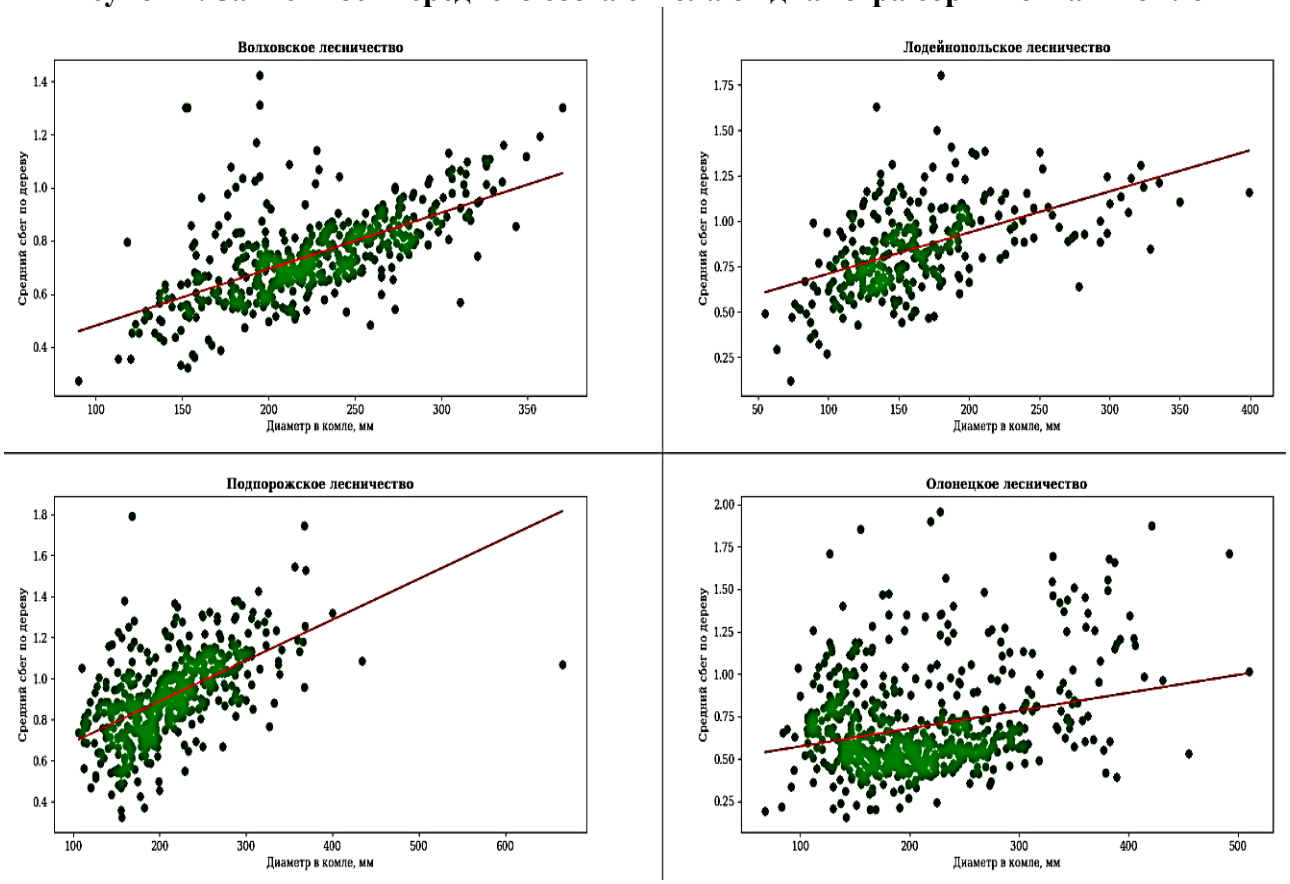


Рисунок 2. Диаграмма рассеяния среднего сбега ствола в зависимости от диаметра в комле

Во всех лесничествах (кроме Волховского) при диаметре ствола в комле от 100 до 120 мм средний сбег ствола составляет порядка 0,75 см/м. В Волховском лесничестве это значение ниже – менее 0,6 см/м.

Аналогичная ситуация при диаметре в комле 320 мм – средний сбег составляет 1,1 см/м во всех лесничествах кроме Волховского, там средний сбег равен 1,0 см/м.

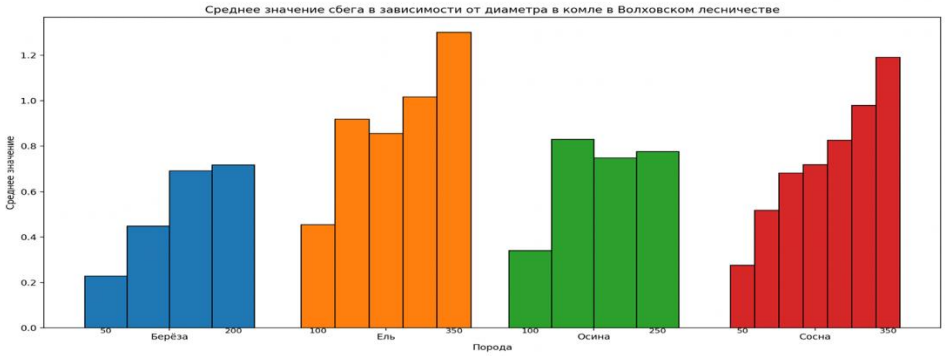
В Волховском районе ярко выражена линия тренда и однородность показателей сбега. Значения диаметра в комле равномерно распределены от 100 мм до 350 мм, а показатели среднего сбега постепенно увеличиваются от 0,4 см/м до 1,2 см/м.

В Лодейнопольском районе при лесозаготовках заметно преобладание средних диаметров – от 100 мм до 200 мм в комле. Линия тренда не так очевидна. К примеру, для диаметра 150 мм в комле количество деревьев со сбегом 0,5 см/м также велико как и со сбегом 1 см/м.

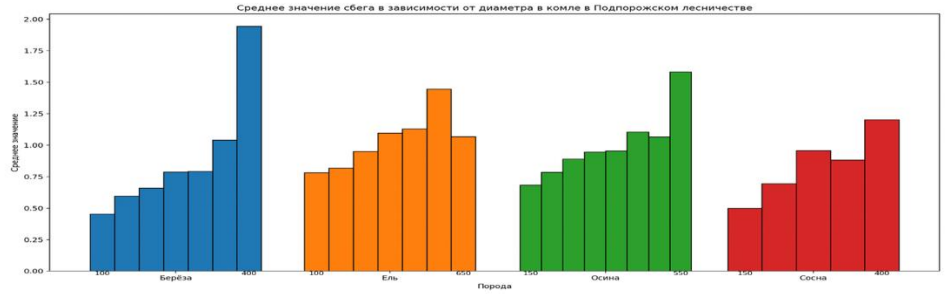
В Подпорожском районе значения диаметров заготовленной древесины близки к диаметрам в Волховским районе – от 100 мм до 350 мм. Но разброс среднего сбега такой же большой, как и в Лодейнопольском районе. Можно заметить значение диаметра одного ствола более 650 мм при среднем сбеге порядка 1 см/м. Значения диаметра являются аномальными, они могут быть связаны с большой закомелистостью ствола, иным аномальным строением, либо с ошибкой измерения.

В Олонецком районе заметно наличие стволов с большим комлевым диаметром, чем в остальных районах. Заметно большое количество стволов с диаметром от 150 мм до 300 мм со средним сбегом порядка 0,5 см/м. В остальных случаях наблюдается слишком большой разброс, а также самое большое количество стволов с высоким показателем сбега (более 1 см/м).

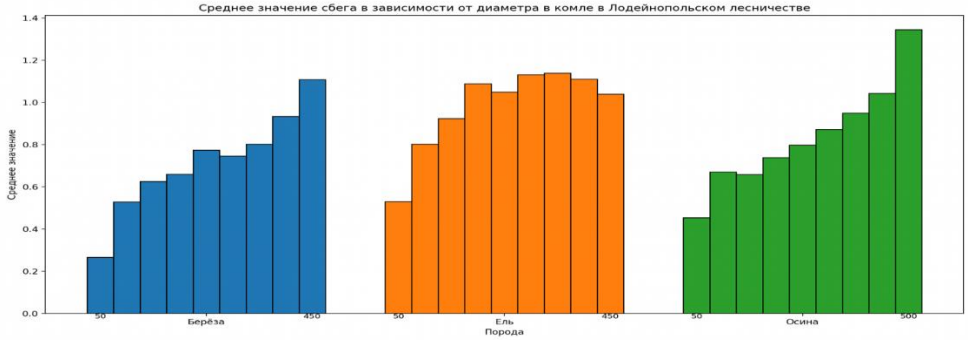
На рис. 3 представлены показатели сбега для различных пород.



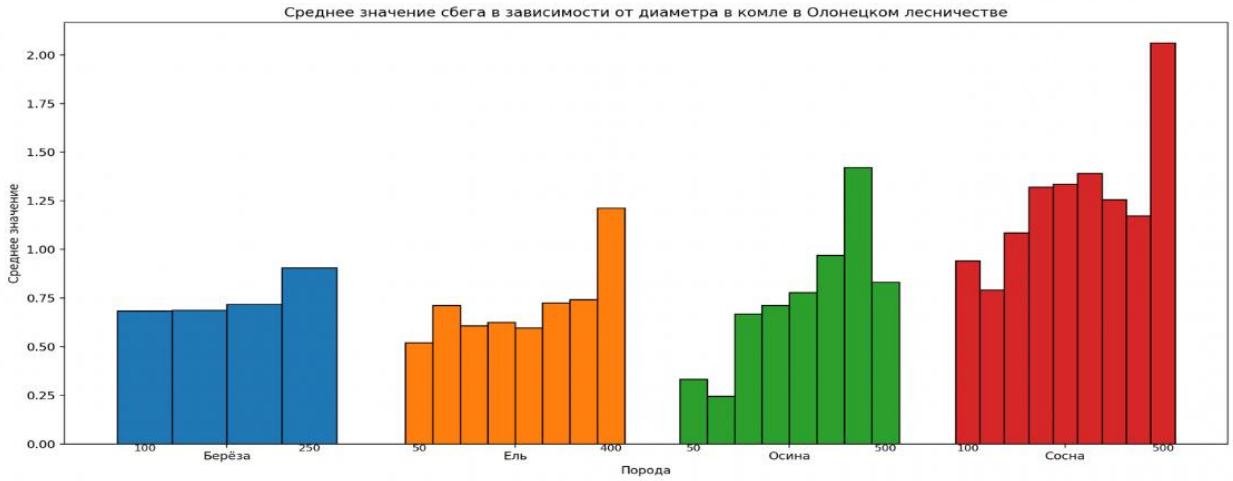
а



б



в



г

Рисунок 3. Зависимость среднего сбега ствола в зависимости от диаметра в комле: а – Волховский район; б – Подпорожский район; в – Лодейнопольский район; г – Олонецкий район

В Подпорожском и Лодейнопольских районах показатели сбега равны и составляют приблизительно от 0,5 см/м до 1,0 соответственно при комлевых диаметрах от 50…100 мм до 350…400 мм.

В Олонецком районе средний сбег ели составляет порядка 0,55…0,65 см/м, это заметно ниже, чем в других районах – от 0,75 до 1,1 см/м в Подпорожском, от 0,4 до 1,25 см/м в Волховском районах.

В Лодейнопольском районе ввиду самой большой выборки и преобладания осины, ее показатели среднего сбега постепенно растут по мере увеличения комлевого диаметра – от 0,4 до 1,35 см/м при комлевом диаметре от 50 до 500 мм соответственно. В Подпорожском районе аналогичная ситуация – при комлевом диаметре от 150 до 550 мм средний сбег от 0,75 до 1,5 см/м соответственно.

В Волховском районе заметен постепенный рост среднего сбега в зависимости от комлевого диаметра – от 0,2 до 1,2 см/м соответственно от 50 до 350 мм в комле. В Олонецком районе средний сбег от 0,75 до 1,25 мм/см при комлевом диаметре от 100 до 450 мм.

Таким образом, в ходе работы оценен сбег древесины при лесозаготовках многооперационными лесными машинами в условиях Северо-Западного Федерального округа. Изменчивость сбега определяется климатическими и почвенными особенностями произрастания деревьев по регионам Северо-Западного Федерального округа.

Список литературы

1. Мануковский А.Ю., Зорин М.В., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Программные комплексы современных лесных машин // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей. – Казань: ООО «КОНВЕРТ», 2020. С. 57-59.

2. Уразова А.Ф., Васильев Н.Л. Управление качеством продукции в лесном комплексе. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 112 с.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025617886 RU. Программа для анализа и визуализации отчётных данных валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин / Е.А. Баканач, С.А. Угрюмов; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова; заявл. 27.03.2025, опубл. 31.03.2025, Бюл. № 4. 1 с.

References

1. Manukovsky A.Yu., Zorin M.V., Rudov S.E., Kunitskaya O.A., Grigoriev I.V. Software complexes of modern forest machines // Priority areas of innovation in industry: collection of scientific articles. – Kazan: OOO «KONVERT», 2020. pp. 57-59.
2. Urazova A.F., Vasiliev N.L. Product quality management in the forestry complex. – Yekaterinburg: UGFTU, 2020. 112 p.
3. Certificate of state registration of the computer program No. 2025617886 RU. A program for analyzing and visualizing accounting data of felling and knot-cutting and bucking machines / E.A. Bakanach, S.A. Ugryumov; applicant and patent holder St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov; application. 03/27/2025, publ. 03/31/2025, Bul. № 4. 1 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_501-511
УДК 630;691;625

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПЕРЕХОДНОГО ТИПА С ГЕОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ПРОСЛОЙКОЙ НА ДОРОГАХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ И ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГАХ

А.М. Бургонутдинов[1], В.И. Клевеко[2], А.С. Сергеев[2]

[1]д.т.н, профессор кафедры «Автомобильные дороги и мосты»,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия
[2]к.т.н, доцент кафедры «Автомобильные дороги и мосты»,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

Аннотация.

Основу исследования составляет методология расчета дорожных одежд переходного типа для лесовозных дорог с применением геосинтетических прослоек, основанная на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС). Численное моделирование напряженно-деформированного состояния, выполненное в среде PLAXIS 2D (метод конечных элементов), позволило получить массив данных из 414 расчетных серий. Этот массив, включающий 13 входных и 2 выходных переменных, послужил базой для обучения и валидации разработанной интеллектуальной нейронной сети. С помощью нейронной сети были выявлены весовые коэффициенты влияния входных параметров на величину выходных параметров, которые показали, что наибольшее значения на величину вертикальной деформации оказывают такие факторы как, модуль упругости грунта земляного полотна, толщина покрытия дорожной одежды и линейная жесткость геосинтетического материала, а для величины растягивающего усилия в геосинтетической прослойке наибольшее значения оказывают: модуль упругости грунта земляного полотна, линейная жесткость геосинтетического материала и толщина основания дорожной одежды. Результаты прогнозирования расчетов показали высокую точность прогноза выходных параметров с помощью созданной нейронной сети, средняя погрешность составила 9,24%. Таким образом созданная нейронная сеть позволяет достаточно точно прогнозировать величину вертикального перемещения на поверхности дорожной одежды, т.е. величину модуля упругости дорожной одежды и величину растягивающего усилия в армирующей прослойке.

Ключевые слова: автомобильные дороги, лесовозные дороги; геосинтетические армирующие материалы; дорожная одежда переходного типа, метод конечных элементов, интеллектуальная нейронная сеть, нагрузка, линейно-упругая модель.

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR CALCULATION OF STRUCTURES OF TRANSITIONAL ROAD PAVEMENTS WITH A GEOSYNTHETIC INTERLAYER ON PUBLIC ROADS AND LOGGING ROADS

A.M. Burgonutdinov[1], V.I. Kleveko[2], A.S. Sergeev[2]

© Бургонутдинов А. М., Клевеко В. И., Сергеев А. С., 2025

[1]*Doctor of Engineering, Professor, Department of Highways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia*
[2]*Candidate of Engineering, Associate Professor, Department of Highways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia*

Abstract. The study is based on a methodology for calculating transitional pavements for logging roads using geosynthetic interlayers, based on the use of artificial neural networks (ANN). Numerical modeling of the stress-strain state, performed in the PLAXIS 2D environment (finite element method), allowed us to obtain a dataset of 414 calculation series. This dataset, including 13 input and 2 output variables, served as the basis for training and validation of the developed intelligent neural network. Using the neural network, we identified weighting coefficients for the influence of input parameters on the value of output parameters. The results showed that such factors as the elastic modulus of the subgrade soil, the thickness of the pavement surface, and the linear stiffness of the geosynthetic material have the greatest influence on the magnitude of vertical deformation. For the tensile force in the geosynthetic interlayer, the following factors have the greatest influence: the elastic modulus of the subgrade soil, the linear stiffness of the geosynthetic material, and the thickness of the pavement base. The predictive calculation results demonstrated high accuracy in predicting output parameters using the developed neural network, with an average error of 9.24%. Thus, the developed neural network allows for a fairly accurate prediction of the magnitude of vertical displacement on the road surface, i.e., the elastic modulus of the road surface and the tensile force in the reinforcing layer.

Keywords: Highways, logging roads; geosynthetic reinforcing materials; transitional road surfaces, finite element method, intelligent neural network, load, linear elastic model.

Одной из основных статей затрат в общей себестоимости деловой древесины являются транспортные расходы, связанные с её доставкой от мест рубки к потребителям. Снижение транспортных расходов является актуальной задачей для всего лесопромышленного комплекса нашей страны. Одним из основных способов транспортировки деловой древесины является её вывоз автомобильным транспортом по зимним лесовозным дорогам. Такой способ транспортировки не требует строительства всесезонных дорог и является одним из самых экономичных способов. Однако в последнее время, в связи с потеплением климата, во многих регионах, время эксплуатации зимников снижается, что вызывает всё большую необходимость возведения всесезонных лесовозных дорог.

Строительство и эксплуатация лесовозных дорог всесезонного действия часто осложняется сложными инженерно-геологическими условиями. Низкая прочность грунтов в основаниях приводит к образованию колейности и других дефектов, ухудшающих транспортно-эксплуатационные показатели, что, в свою очередь, увеличивает стоимость перевозки древесины. Одним из эффективных методов повышения прочности земляного полотна является применение геосинтетических материалов, что подтверждено многочисленными экспериментальными исследованиями. Существующие нормативные методики расчета дорожных одежд с геосинтетикой, основанные на аналитических и эмпирических подходах, не всегда адекватно описывают сложные процессы, происходящие в конструкции. Хотя численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе PLAXIS доказало свою эффективность для таких расчетов [14-24], его доступность для большинства проектных организаций ограничена. В качестве альтернативы предлагается разработка инженерного метода на базе искусственной нейронной сети (ИНС), основанного на закономерностях, выявленных с помощью МКЭ. Предыдущие исследования [25] подтвердили возможность использования ИНС для прогнозирования вертикальных перемещений в конструкциях без геосинтетики с высокой точностью (погрешность $\leq 5\%$).

Настоящее исследование расширяет этот подход для дорожных одежд переходного типа лесовозных дорог с армирующими геосинтетическими прослойками. Моделирование методом МКЭ было выполнено в PLAXIS 2D с использованием следующих моделей материалов:

- Покрытие и основание: описаны линейно-упругой моделью (параметры: модуль упругости E, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}25$).
- Грунт земляного полотна: описан упругопластической моделью Мора-Кулона (параметры: модуль упругости E, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}35$, угол внутреннего трения φ, удельное сцепление C, угол дилатансии $\psi = 0$). Нагрузка от колеса моделировалась штампом круглой формы.

Для разработки ИНС была сформирована база данных на основе результатов МКЭ-моделирования. Входными параметрами сети являются тринадцать ключевых характеристик конструкции и материалов:

- Нагрузка от колеса расчётного автомобиля, Q.
- Диаметр отпечатка колеса, D.
- Толщина покрытия, H_1.
- Модуль упругости покрытия, E_1.
- Удельный вес покрытия, γ_1.
- Толщина основания, H_2.
- Модуль упругости основания, E_2.
- Удельный вес основания, γ_2.
- Удельное сцепление грунта, C.
- Угол внутреннего трения грунта, φ.
- Модуль деформации грунта, E_3.
- Удельный вес грунта, γ_3.
- Линейная жесткость геосинтетического материала, G.
- Выходными параметрами являются:
- Вертикальная осадка на поверхности дорожной одежды, S.
- Растягивающее усилие в армирующей прослойке, N.

Схема исследуемой конструкции дорожной одежды с геосинтетической прослойкой представлена на Рис. 1.

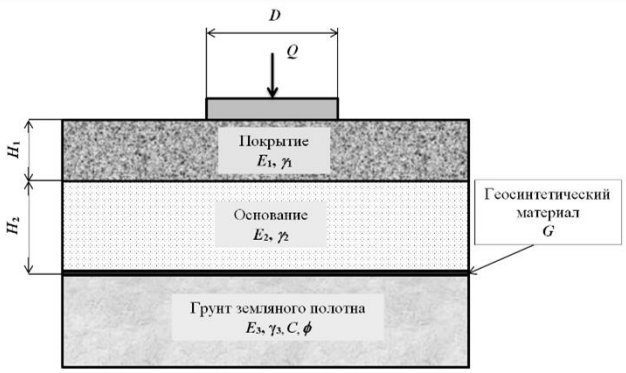


Рисунок 1. Расчетная схема дорожной одежды переходного типа с геосинтетической армирующей прослойкой

В основу разработки нейронной сети легла база данных, сгенерированная с помощью программы PLAXIS 2D. Объем выборки составил 414 расчетных случаев, результаты которых были занесены в таблицу Excel. В таблице 1 представлены диапазоны варьирования входных характеристик, применявшихся для обучения и последующей апробации модели.

Таблица 1 Диапазоны входных параметров нейронной сети для армированного основания

Параметры	Диапазон параметров
Входные параметры	
Нагрузка от колеса расчетного автомобиля, кН	50-65
Диаметр отпечатка колеса расчетного автомобиля, кН	0,2-0,6
Толщина покрытия, м	0,1-0,25
Модуль упругости покрытия, МПа	100-700
Удельный вес покрытия, кН/м^3	15-21
Толщина основания, м	0,15-0,4
Модуль упругости основания,	50-400
Удельный вес основания,	15-20
Линейная жесткость геосинтетического материала *G*	300-1800
Удельное сцепление грунта земляного полотна, кПа	0-35
Угол внутреннего трения грунта земляного полотна,	5-40
Модуль деформации грунта земляного полотна, МПа	2,5-35
Удельный вес грунта земляного полотна, кН/м^3	15-20

Описание разработанной искусственной нейронной сети. Методика разработки интеллектуальной нейронной сети, примененная в данном исследовании, подробно изложена в работе [25]. Для решения задачи сложной регрессии при расчете дорожных одежд была использована полносвязная нейронная сеть прямого распространения, способная эффективно прогнозировать различные характеристики конструкций.

Архитектура сети соответствует классической трехуровневой структуре, включающей входной, скрытый и выходной слои. В рамках данного исследования была обучена модель для прогнозирования вертикальных перемещений поверхности дорожного покрытия под воздействием колесной нагрузки расчетного автомобиля.

В результате разработана нейронная сеть с 13 входными параметрами и 2 выходными параметрами. Визуальное представление архитектуры модели приведено на рис. 2.

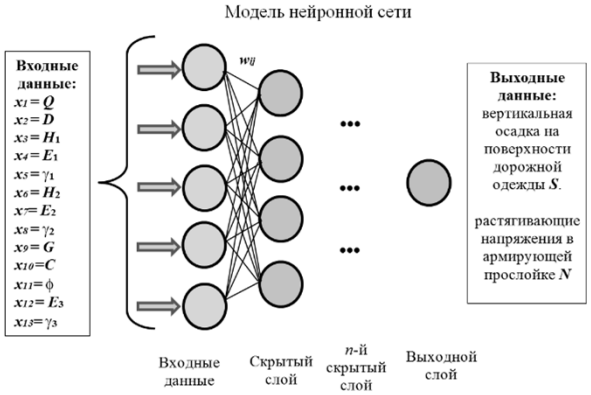


Рисунок 2. Модель нейронной сети

На рисунке 2 представлена схема искусственной нейронной сети, где: xi – числа, являющиеся исходными данными прогнозируемого процесса с весом связей w_{ij}. Вес связи w_{ij} это число, на которое умножается выходное значение предыдущего слоя. Нейроны скрытого и выходного слоя – это функции $f(u)$ и $t(u)$, где u – сумма входящих значений, умноженных на соответствующие веса связей w_{ij}. Функции $f(u)$ и $t(u)$, называются активационными, а параметры a_i и m_n – выходом активационных функций $f(u)$ и $t(u)$.

Архитектура представленной нейронной сети (рис. 2) характеризуется следующей организацией: входной слой содержит 5 нейронов, скрытый слой - 4 нейрона, выходной слой - 1 нейрон. Выходное значение сети является результатом всех вычислительных операций. Все нейроны смежных слоев соединены между собой, что определяет данную конфигурацию как полносвязную.

Следует отметить, что в практических задачах количество нейронов в слоях и количество скрытых слоев может варьироваться в зависимости от вычислительных ресурсов и целесообразности для конкретной задачи.

Искусственная нейронная сеть представляет собой математическую модель, воспроизводящую принципы обработки информации в биологических нейронных структурах. Данная система состоит из иерархически организованных слоев взаимосвязанных вычислительных единиц (нейронов), включающих входной, один или несколько скрытых и выходной слои.

Каждый искусственный нейрон выполняет последовательное преобразование входных сигналов: умножение на весовые коэффициенты, суммирование полученных произведений и применение нелинейной активационной функции. Именно введение нелинейности через активационные функции позволяет сети моделировать сложные зависимости в данных.

Поведение и вычислительные возможности сети определяются совокупностью всех весовых коэффициентов и параметров активационных функций. Процесс настройки этих параметров, известный как обучение сети, является обязательным предварительным этапом перед использованием сети для прогнозирования.

Обучение нейронной сети представляет собой итеративный процесс оптимизации весовых коэффициентов и параметров активационных функций. Данный процесс направлен на минимизацию функции потерь, количественно оценивающей расхождение между прогнозами сети и эталонными значениями из обучающей выборки. Обучающая выборка объемом 414 примеров была сформирована на основе базы данных расчетных параметров дорожных одежд и состоит из пар "входные данные - целевые значения".

Современные алгоритмы обучения, включая методы второго порядка, использующие информацию о кривизне функции потерь, осуществляют постепенную корректировку параметров сети. Несмотря на вычислительную сложность процесса, особенно для крупных сетей, после обучения модель приобретает способность к прогнозированию на новых данных.

Важной особенностью нейронных сетей является их характеристика "чёрного ящика" - сложность интерпретации внутренних представлений и преобразований данных. Эта нелинейность, обеспечивающая возможность выявления сложных зависимостей, одновременно ограничивает прозрачность принятия решений, что в некоторых случаях может требовать применения альтернативных методов.

Для реализации нейронной сети использовался язык программирования Python с применением библиотек TensorFlow и Keras. Архитектура сети оптимизирована с помощью байесовских методов с учетом:

- анализа конфигураций с двумя и тремя скрытыми слоями
- поддержания соотношения параметров модели к объему данных 2,5:1
- предотвращения явлений переобучения и избыточности модели

В результате оптимизации была определена оптимальная архитектура сети, обеспечивающая баланс между вычислительной эффективностью и прогностической способностью.

Результаты и их обсуждение. После завершения обучения нейронной сети были получены прогнозные значения вертикальных деформаций поверхности дорожного покрытия. Для количественной оценки точности прогнозирования механических характеристик грунтов был построен график сопоставления предсказанных и фактических значений (рис. 3).

Достоверность результатов оценивалась путем проведения 10 независимых прогонов модели. Полученные данные (таблица 3) демонстрируют высокую сходимость результатов с минимальным разбросом показателей, что подтверждает стабильность работы нейронной сети. Средняя величина погрешности прогнозирования не превышает 5%, что свидетельствует о удовлетворительной точности модели для практического применения в расчетах дорожных одежд.

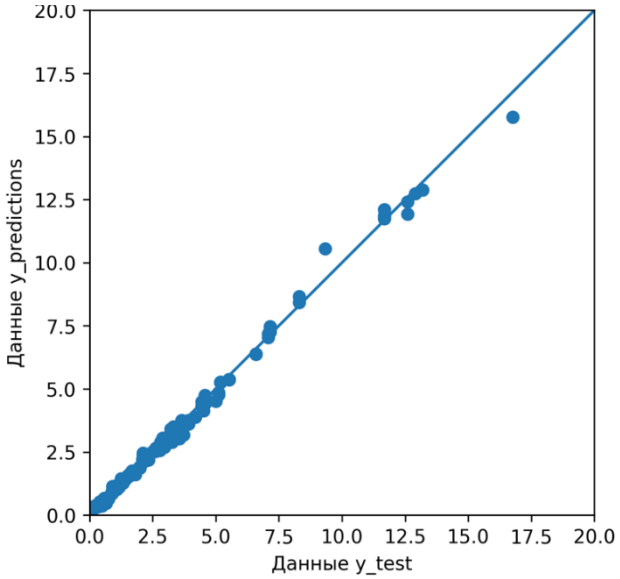


Рисунок 3. Пример результатов работы нейронной сети

Таблица 3 Результаты точности прогнозирования нейронной сети

№ расчета	Точность прогнозирования, %
1	90,76
2	92,06
3	90,11
4	89,60
5	91,77
6	88,27
7	91,70
8	91,07
9	90,73
10	91,52
Среднее значение	90,76

Полученные результаты показали, что средняя погрешность прогнозирования составила 9,24%, что является приемлемым значением (менее 10%). Данный показатель подтвердил адекватность и работоспособность разработанной нейронной сети.

Особое внимание в исследовании было уделено анализу значимости входных параметров модели. Для количественной оценки влияния различных факторов на выходные параметры, особенно учитывая нелинейный характер процессов, был применен метод SHAP (SHapley Additive exPlanations), позволяющий интерпретировать прогнозы сложных моделей машинного обучения.

Результаты анализа важности признаков, полученные с использованием метода SHAP, представлены в таблице 4. Эти данные позволяют определить степень влияния каждого входного параметра на прогнозируемые характеристики и выявить наиболее значимые факторы, определяющие поведение модели.

Таблица 4 Итоговая таблица влияния входных параметров на величину вертикального перемещения *S* и усилия в армирующей прослойке *N*

№ п/п	Входной параметр	Ранг		Среднее значение веса связи	
		S	***N***	***S***	***N***
1	*Q*, кН	11	8	0,146	0,071
2	*D*, м	8	9	0,289	0,062
3	H_1, м	2	10	0,605	0,054
4	E_1, кПа	9	5	0,286	0,118
5	$\gamma 1$, кН/м^3	4	6	0,494	0,113
6	H_2, м	6	3	0,350	0,170
7	E_2, кПа	10	11	0,194	0,050
8	γ_2, кН/м^3	5	7	0,475	0,072
9	*G*, кН/м^2	3	2	0,571	0,293
10	*C*, кПа	13	12	0,077	0,028
11	*f*, град	12	13	0,116	0,015
12	E_3, кПа	1	1	1,269	0,309
13	γ_3, кН/м^3	7	4	0,330	0,170

Проведенный анализ влияния входных параметров на выходные характеристики для расчета дорожных одежд переходного типа с геосинтетическими прослойками выявил следующие закономерности:

Наибольшее влияние на оба выходных параметра оказывает модуль упругости грунта земляного полотна (E_3). При этом значимость остальных параметров варьируется в зависимости от конкретной выходной характеристики:

Для вертикального перемещения (S):

- Второй по значимости параметр - толщина покрытия (H_1)
- Третий параметр - линейная жесткость геосинтетического материала (G)

Для усилия в армирующей прослойке (N):

- Второе место занимает линейная жесткость геосинтетического материала (G)
- Третье место - толщина основания дорожной одежды (H_2)

Полученные результаты демонстрируют различный характер влияния исследуемых параметров на различные выходные характеристики конструкции, что необходимо учитывать при проектировании дорожных одежд переходного типа.

Заключение. Разработанная интеллектуальная нейронная сеть демонстрирует возможность определения расчетных параметров дорожной одежды с удовлетворительной точностью. Модель обеспечивает прогнозирование вертикальной осадки поверхности под колесной нагрузкой и растягивающих усилий в армирующей прослойке со средней погрешностью 9,24%, не превышающей пороговое значение в 10%.

Анализ чувствительности модели выявил ключевые факторы влияния на выходные параметры. Наибольшую значимость проявляют: модуль деформации грунта земляного полотна (E_3), линейная жесткость геосинтетического материала (G), а также толщины

конструктивных слоев покрытия и основания.

Для дальнейшего повышения точности прогнозирования рекомендуется расширение объема обучающей выборки, с преимущественным добавлением данных по параметрам, оказывающим наибольшее влияние на выходные характеристики. Это позволит улучшить обобщающую способность модели и повысить достоверность прогнозных расчетов.

Список литературы

1. Клевеко В.И. Определение физико-механических характеристик грунтов основания временной лесной дороги и выявление причин образования колейности :/ В.И. Клевеко, Е.А. Кунгурова //Деревообрабатывающая промышленность. –2024. –№ 1. –С. 3-9.

2. Бургонутдинов А.М. Исследование прочностных характеристик грунта лесных дорог :/ А.М. Бургонутдинов, В.И. Клевеко // Теория и практика современной науки. – 2023. – № 12 (102). – С. 65-69.

3. Солодянкина А.А., Лаптев В.А. Использование геосинтетических материалов при строительстве лесовозных дорог // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2022. Т. 1. С. 254-260; EDN: LZYVSE

4. Сушков С.И., Князев А.В., Востриков Д.С. К вопросу использования геосинтетических материалов в строительстве лесных автомобильных дорог//Воронежский научно-технический Вестник. 2018. Т. 1. № 1 (23). С. 15-21; EDN: YUUKAN

5. Тумашик И.И., Вырко Н.П., Лащенко А.П., Лось А.М. Усиление лесных дорог геосинтетическими материалами по методу грунт в оболочке // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. №18. С. 60-63; EDN: TZQKQX

6. Клевеко В.И. Применение геосинтетических материалов в дорожном строительстве в условиях Пермского края //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 114-123.

7. Бургонутдинов А.М. Применение геосинтетических материалов для временных лесовозных дорог :/ А.М. Бургонутдинов, В.И. Клевеко, В.Э. Рубенков // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн. Материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск. – 2024. – С. 136-140.

8. Клевеко В.И., Бургонутдинов А.М. Существующие виды армированных оснований лесовозных автомобильных дорог :/ В.И. Клевеко, А.М. Бургонутдинов //Теория и практика современной науки. –2022. –№ 11 (89). – С. 72-76.

9. Бурмистрова О.Н. Экспериментальные исследования армированных глинистых оснований лесовозных дорог :/ О.Н. Бурмистрова, А.М. Бургонутдинов, В.И. Клевеко //Аграрный научный журнал. –2023. – № 10. – С. 147-153.

10. Клевеко В.И. Натурные исследования армированных грунтовых оснований лесных дорог :/ В.И. Клевеко, А.М. Бургонутдинов //Высокие технологии и инновации в науке. Сборник статей международной научной конференции. Санкт-Петербург. – 2022. – С. 18-22.

11. Клевеко В.И. Комплексные исследования напряженно-деформированного состояния активной зоны армированных оснований лесных дорог :/ В.И. Клевеко, А.М. Бургонутдинов // Научные исследования в современном мире. Теория и практика. Сборник статей международной научной конференции. Санкт-Петербург. –2022. –С. 50-54.

12. Kleveko V.I. Model and field experimental studies of reinforced clay bases//Journal of Physics: Conference Series. "Deep Foundations and Geotechnical Problems of Territories, DFGC 2021". – 2021. –P. 012032.

13. Клевеко В.И. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния армированных грунтовых оснований в глинистых грунтах // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. –2014. –№ 4 (30). –С. 188-197.

14. Клевеко В.И. Сравнение модельных штамповых испытаний и расчетов по методу конечных элементов :/ В.И. Клевеко, Д.А. Татьянников, Е.О. Драчева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 170-179.

15. Клевеко В.И. Сравнение результатов численного и аналитического методов расчета дорожной одежды переходного типа лесных дорог : / В.И. Клевеко, В.Э. Рубенков //Современные проблемы развития Европейского Севера - 2024. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ухта. – 2024. – С. 28-31.

16. Рубенков В.Э. Расчет дорожной одежды временных дорог различного назначения с геосинтетической прослойкой : / В.Э. Рубенков, В.И. Клевеко //Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2024. – Т. 1. – С. 286-290.

17. Бурмистрова О.Н., Кручинин И.Н., Клевеко В.И. Оценка напряжённо-деформированного состояния дорожной одежды лесных дорог, усиленной геосинтетическими оболочками // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 2 (62). С. 56-63. DOI: 10.25686/2306-2827.2024.2.56; EDN: DIWXCD

18. Xu Y.F., Huang J. Case Study on Earth Reinforcement Using Soilbags // Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics – Shanghai, China, 2008. – pp. 597-602. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-69313-0_111

19. Bo-Bo X., Bin T., Xiao-chun L. A New Structure of Geotextile Called Soil Nets for Reinforcement [Электронный документ] // Advances in Materials Science and Engineering. – 2017. URL: https://www.hindawi.com/journals/amse/2017/9518593/(accessed 13.01.2024). DOI: https://doi.org/10.1155/2017/9518593.

20. Бурмистрова О.Н., Пластинина Е.В., Воронина М.А. Обоснование расчетных схем и математических моделей нежестких дорожных одежд, армированных геосинтетическими материалами // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1 (15). С. 45-51; EDN: QBHYOH

21. Мартынов Е.А., Литвинов Н.Н. Исследование армированной дорожной одежды путем численного моделирования // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2011. С. 36-40. EDN: TNMRGR

22. Клевеко В.И., Рубенков В.Э. Сравнение результатов численного и аналитического методов расчета дорожной одежды переходного типа лесных дорог // Современные проблемы развития Европейского Севера - 2024. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ухта, 2024. С. 28-31. EDN: FWZGCY

23. Применение нейронных сетей для расчета конструкций дорожных одежд переходного типа на лесных дорогах: монография / В. В. Сорочан, Н. П. Гаврилюк, Ю. А. Царев, В. И. Клевеко; Гуманитар. нац. исслед. ин-т «Нацразвитие». - Санкт-Петербург : Нацразвитие, 2025. - С. 188-198. - URL: http://natsrazvitie.ru/monografii. - Загл. с титул. экрана. - ISBN 978-5-00213-429-8.

References

1. Kleveko V.I. Determination of the physico-mechanical characteristics of the soils of the base of a temporary forest road and identification of the causes of rutting :/ V.I. Kleveko, E.A. Kungurova //The woodworking industry. -2024. –No. 1. –pp. 3-9.

2. Burgonutdinov A.M. Investigation of the strength characteristics of the soil of forest roads :/ A.M. Burgonutdinov, V.I. Kleveko // Theory and practice of modern science. -2023. – № 12 (102). – Pp. 65-69.

3. Solodyankina A.A., Laptev V.A. The use of geosynthetic materials in the construction of logging roads // Modern technologies in construction. Theory and practice. 2022. Vol. 1. pp. 254-260; EDN: LZYVSE

4. Sushkov S.I., Knyazev A.V., Vostrikov D.S. On the use of geosynthetic materials in the construction of forest highways//Voronezh Scientific and Technical Bulletin. 2018. Vol. 1. No. 1 (23). pp. 15-21; EDN: YUUKAN

5. Tumashik I.I., Vyrko N.P., Lashchenko A.P., Los A.M. Reinforcement of forest roads with geosynthetic materials using the soil-in-shell method // Actual problems of the forest complex. 2007. No. 18. pp. 60-63; EDN: TZQKQX

6. Kleveko V.I. Application of geosynthetic materials in road construction in the Perm region //Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. - 2013. – No. 1. – pp. 114-123.

7. Burgonutdinov A.M. Application of geosynthetic materials for temporary logging roads :/ A.M. Burgonutdinov, V.I. Kleveko, V.E. Rubenkov // Forest engineering, materials science and design. Proceedings of the 88th Scientific and Technical Conference of faculty, researchers and postgraduates (with international participation). Minsk, 2024, pp. 136-140.

8. Kleveko V.I., Burgonutdinov A.M. Existing types of reinforced bases of logging roads :/ V.I. Kleveko, A.M. Burgonutdinov //Theory and practice of modern science. -2022. –№ 11 (89). – Pp. 72-76.

9. Burmistrova O.N. Experimental studies of reinforced clay bases of logging roads : O.N. Burmistrova, A.M. Burgonutdinov, V.I. Kleveko //Agrarian Scientific Journal. -2023. – No. 10. – pp. 147-153.

10. Kleveko V.I. Field studies of reinforced soil bases of forest roads :/ V.I. Kleveko, A.M. Burgonutdinov //High technologies and innovations in science. Collection of articles of the international scientific conference. Saint Petersburg, 2022, pp. 18-22.

11. Kleveko V.I. Comprehensive studies of the stress-strain state of the core of reinforced forest road bases :/ V.I. Kleveko, A.M. Burgonutdinov // Scientific research in the modern world. Theory and practice. Collection of articles of the international scientific conference. Saint Petersburg. -2022. –pp. 50-54.

12. Kleveko V.I. Model and field experimental studies of reinforced clay bases//Journal of Physics: Conference Series. "Deep Foundations and Geotechnical Problems of Territories, DFGC 2021." – 2021. –P. 012032.

13. Kleveko V.I. Experimental studies of the stress-strain state of reinforced soil bases in clay soils // Izvestiya Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. -2014. –№ 4 (30). – Pp. 188-197.

14. Kleveko V.I. Comparison of model stamp tests and calculations using the finite element method :/ V.I. Kleveko, D.A. Tatiannikov, E.O. Dracheva // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. - 2014. – No. 4. – pp. 170-179.

15. Kleveko V.I. Comparison of the results of numerical and analytical methods for calculating the road surface of the transitional type of forest roads : / V.I. Kleveko, V.E. Rubenkov //Modern problems of the development of the European North - 2024. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Ukhta. – 2024. – pp. 28-31.

16. Rubenkov V.E. Calculation of the road surface of temporary roads for various purposes with a geosynthetic layer : / V.E. Rubenkov, V.I. Kleveko //Modern technologies in construction. Theory and practice. – 2024. – Vol. 1. – pp. 286-290.

17. Burmistrova O.N., Kruchinin I.N., Kleveko V.I. Assessment of the stress-strain state of the road surface of forest roads reinforced with geosynthetic shells // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Environmental management. 2024. No. 2 (62). pp. 56-63. DOI: 10.25686/2306-2827.2024.2.56; EDN: DIWXCD

18. Xu Y.F., Huang J. Case Study on Earth Reinforcement Using Soilbags // Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics – Shanghai, China, 2008. – pp. 597-602. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-69313-0_111

19. Bo-Bo X., Bin T., Xiao-chun L. A New Structure of Geotextile Called Soil Nets for Reinforcement [Electronic document] // Advances in Materials Science and Engineering. – 2017. URL: https://www.hindawi.com/journals/amse/2017/9518593/(accessed 13.01.2024). DOI: https://doi.org/10.1155/2017/9518593.

20. Burmistrova O.N., Plastinina E.V., Voronina M.A. Substantiation of calculation schemes and mathematical models of non-rigid road clothes reinforced with geosynthetic materials // Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Environmental management. 2012. No. 1 (15). pp. 45-51; EDN: QBHYOH

21. Martynov E.A., Litvinov N.N. Investigation of reinforced pavement by numerical modeling // Development of the road transport complex and construction infrastructure based on rational use of natural resources. Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists. 2011. pp. 36-40. EDN: TNMRGR

22. Kleveko V.I., Rubenkov V.E. Comparison of the results of numerical and analytical methods for calculating the road surface of the transitional type of forest roads // Modern problems of the development of the European North - 2024. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Ukhta, 2024. pp. 28-31. EDN: FWZGCY

23. The use of neural networks for calculating transitional-type road clothing structures on forest roads: a monograph / V. V. Sorochan, N. P. Gavril, Yu. A. Tsarev, V. I. Kleveko; Humanities. research. in-t "National development". - St. Petersburg : National Development, 2025. - pp. 188-198. - URL: http://natsrazvitie.ru/monografii - Title page. the screen. - ISBN 978-5-00213-429-8.

DOI: 10.58168/Forestry2025_512-520
УДК 630 36

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН НА ЛЕСОСЕЧНЫХ И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТАХ

И.С. Должиков
к.т.н., доцент кафедры техносферной безопасности
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

О.А. Куницкая
д.т.н., профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса»,
Арктический государственный агротехнологический университет,
г. Якутск, Россия

Л.М. Михайлова
аспирант
Арктический государственный агротехнологический университет,
г. Якутск, Россия

Аннотация.
Рассмотрены необходимость и основы классификационного выделения понятия «малогабаритные лесные машины». Обоснованы перспективные природно-производственные условия их использования на лесосечных и лесохозяйственных работах. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, https://rscf.ru/project/23-16-00092/.

Ключевые слова: лесные машины, малые лесные машины, малогабаритные лесные машины, малообъемные лесозаготовки.

PROSPECTS FOR THE USE OF MODERN SMALL-SIZED FORESTRY MACHINES IN LOGGING AND FORESTRY OPERATIONS

I.S. Dolzhikov
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety,
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia
O.A. Kunitskaya
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Equipment of the Forest Complex,
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

© Должиков И. С., Куницкая О. А., Михайлова Л. М., 2025

L.M. Mikhailova
Postgraduate student

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Abstract. Promising options for effective development of forest fund areas remote from the road network, as well as areas with weak bearing capacity of soils, are considered. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of the logging industry and forestry". The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, https://rscf.ru/project/23-16-00092/.

Keywords: inaccessible forest areas, forest terminals, coastal timber warehouses, alternative energy.

Широко применяемый в настоящее время в научной литературе, в докладах конференций, выпускных квалификационных и диссертационных работах термин «малогабаритные лесные машины» в настоящее время не имеет четкого (измеряемого) определения. В научной литературе наиболее распространен следующий вариант: «Малогабаритные лесные машины — это техника для заготовки и транспортировки леса, которая отличается небольшими габаритами и весом, что обеспечивает манёвренность и приспособляемость к сложным условиям леса. Такие машины удобны в местах, где не нужны промышленные объёмы заготовки древесины, в местах, труднодоступных для крупногабаритной техники, а также в лесных насаждениях непромышленного назначения». В [13] отмечено, что «…на слабонесущих грунтах для трелевки используют малогабаритные трелевочные трактора с колесным и гусеничным движителем. Вес таких машин составляет ориентировочно 4-6 т, объем трелюемой пачки лесоматериалов не превышает 2 м^3». Хотя никаких ссылок на источник информации, содержащий данные придержки в [1] не приведено. При этом в [13] рассмотрены колесный и гусеничный трелевочные тракторы, соответственно ЛМТ-3 и ЛМТ-6, массой 2,61 и 3,4 т, соответственно.

В работе [11] вообще рассмотрены челюстные лесопогрузчики перекидного типа ПЛ-1В и ЛТ-188, массой соответственно 11,3 и 18,59 т. Которые, очевидно, к малогабаритным лесным машинам никак не относятся.

Хорошо известна фраза Д.И. Менделеева «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры». Наука о технике и технологии лесозаготовительного производства относится к отрасли технических, а значит точных наук, которые без точных измерений, в том числе в понятийном аппарате, не могут быть эффективны.

В этой связи, в первую очередь, следует определиться с числовыми значениями, диапазонам числовых значений терминов небольшие габариты и вес, применительно к лесным машинам.

В научной литературе, различные авторы, к малогабаритным лесным машинам относят и пешеходно-управляемые машины, типа «железный конь», и широкозахватные лесозаготовительные машины, такие как харвестер «Амкодор 2531». При этом массы этих машин, например, малой универсальной лесной трелевочной машины МУЛ-1 (0,4 т) и широкозахватного харвестера «Амкодор 2531», заявляемого производителем (ОАО «АМКОДОР») как малогабаритная машина, предназначенная для выполнения рубок ухода за лесом по машинной скандинавской технологии (10,75 т), могут различаться более чем в 26 раз! В одном ряду с МУЛ-1 можно упомянуть и другие отечественные разработки: мини-лесовоз ННПИ-1901 (предназначенный для трелевки сортиментов в полностью погруженном положении), и мини-трелевщик НГТУ-1903 (оснащенный канатно-чокерным оборудованием), и широко известные зарубежные модели: «Iron Horse» шведской

компании «Husqvarna», МПН 3,7, словацкой компании «Martimex», «Workhorse» канадской компании «Image Forestry».

Очевидно, что такой диапазон массы не может четко описывать термин малогабаритная лесная машина.

То же касается и габаритов. «Амкодор 2531» имеет длину 8,873 м, ширину 2,3 м, высоту 3,295 м. Иначе говоря, в плане, он имеет площадь 20,4 м^2, а в объеме – 67,24 м^3. При этом МУЛ-1 имеет длину 1,57 м, ширину 1,2 м, высоту 1,0 м (приблизительно). Иначе говоря, в плане, он имеет площадь 1,88 м^2, а в объеме – 1,88 м^3. То есть различия «Амкодор 2531» и МУЛ-1 по занимаемой площади в плане составляют 10,85 раз, а по объему – 35,8 раз!

Можно утверждать, что если терминологически причислять лесные машины, отличающиеся по габаритам и массе в десятки раз, к одной классификационной группе «малогабаритные» то можно получить значительную погрешность, как классификационную (теоретическую), так и практическую, например, при выборе систем машин, составлении коммерческих предложений на покупку техники.

Например, в военном деле есть четкое понятие «малокалиберная артиллерия» - это артиллерия калибра 20-75 мм, или «малокалиберное стрелковое оружие» - это огнестрельное оружие калибром меньше 6,5 мм [9, 10]. Такие цифровые придержки дают возможность четкой классификации вооружений, в том числе при составлении планов на его производство и закупку.

У традиционных смежников лесопользователей – дорожных строителей также есть вполне конкретные цифровые придержки понятия малогабаритной техники, содержащиеся, в частности, в ГОСТ Р ИСО 6165-99 «Машины землеройные. Классификация». Например, в данном документе даны следующие определения: Мини-землевоз - землевоз с шарнирно-сочлененной или жесткой рамой, имеющий эксплуатационную массу (по ГОСТ 27922) не более 4,5 т., или Мини-экскаватор - экскаватор с эксплуатационной массой (по ГОСТ 27922) не более 6,0 т., или Мини-погрузчик - погрузчик, имеющий эксплуатационную массу (по ГОСТ 27922) не более 4,5 т, предназначенный для работы в стесненных условиях, требующих большой мобильности.

К преимуществам указанных выше мини дорожностроительных машин специалисты относят [1, 2, 5]:

Компактность, благодаря которой они наиболее удобны при выполнении работ в ограниченных пространствах.

Маневренность, которая позволяет им наиболее эффективно работать в труднодоступных местах.

Универсальность, которая дает возможность их использования с различным технологическим оборудованием.

Экономичность, заключающая в том, что расход топлива указанных выше мини дорожностроительных машин составляет 3–8 л/ч против 15–25 литров у аналогичных машин среднего класса. Кроме этого, себестоимость обслуживания мини дорожностроительных машин в 2–3 раза ниже, запчасти значительно дешевле, благодаря чему коэффициент технической готовности выше, а простои на ремонт и техническое обслуживание минимальные.

Низкий уровень шума и вредных выбросов.

Низкое удельное давление на грунт. Это позволяет работать на свежих насыпях, торфяниках, заболоченных участках без проваливания и застревания.

Ряд авторов также выделяют такое свойство и для малогабаритных лесных машин, как низкое давление на почвогрунт – примерно, до 15 кПа. Также выделяют их высокую маневренность. Но если для давления на почвогрунт есть какие-то численные придержки, то для маневренности опять же числовые данные не приводятся.

В ГОСТ 29008-91 «Машины для лесного хозяйства мобильные и самоходные. Термины и определения» лесные машины подразделяются по следующим признакам:

По типу шасси: колесная; гусеничная; на воздушной подушке; шнековая; шагающая. Хотя лесных машин на воздушной подушке и с шнековым шасси не было выпущено даже в экспериментальных – испытательных вариантах.

По типу управления: передний мост типа «Аккерман»; шарнирно-сочлененная рама; полоз.

По способу выполнения операций.

По предмету выполнения операции: целое дерево (с корневой системой); поваленное дерево; хлыст; сортимент; щепа.

Никаких вариантов дифференциации лесных машин по габаритам, массе, мощности двигателя ГОСТ 29008-91 не содержит.

В Распоряжении Правительства Российской Федерации от 01.04.2022 г. № 730-р содержится «Перечень машин (в том числе самоходных машин, других видов техники) и (или) оборудования, предназначенных для рубки лесных насаждений, а также для транспортировки древесины из леса». Данный перечень весьма странен, и смешал в себе как лесные машины, так и машины, не используемые на лесосечных и лесохозяйственных работах.

И если наличие в данном перечне автолесовозов с различными прицепами, лесопогрузчиков, процессоров, валочных и валочно-пакетирующих машин, харвестеров, мульчеров, форвардеров, скиддеров вполне очевидно. Наличие в данном Перечне бульдозеров, экскаваторов можно отнести к строительству лесных дорог. То каким образом в этом перечне появились краны на гусеничном и на колесном ходу совершенно не понятно, ведь такая техника на лесосечных и лесохозяйственных работах не применяется. Данный перечень содержит достаточно странную дифференциацию указанных типов машин. И если их деление на новые и бывшие в употреблении (с разным сроком эксплуатации – до 3х лет, 5 лет, 5-7 лет), по всей видимости связано с утилизационным сбором, то почему форвардеры, названные почему-то в данном Перечне лесозаготовительными машинами, принципиально делятся по полной массой транспортного средства на: более 5 т. (позиция ТН ВЭД 8704329201); от 5 до 20 т. (позиция ТН ВЭД 8704229801), и более 20 т. (позиция ТН ВЭД 8704239809). Причем в данном случае логичнее было бы выделить первую позицию «до 5 т.», на более 5 т. А скиддеры, почему-то названные в Перечне «трелевочные тракторы для лесного хозяйства», принципиально подразделяются по установленной мощности двигателя, на: 90-130 кВт (позиция ТН ВЭД 8701941001), и более 130 кВт (позиция ТН ВЭД 8701951001). А следующие за скиддерами в данном Перечне бульдозеры подразделяют также по мощности двигателя, но почему-то измеряемой в лошадиных силах.

Если исходить из того, что форвардеры и скиддеры это трелевочные тракторы, причем обычно колесные, только с разным технологическим оборудованием, обеспечивающим различный способ трелевки, то принцип такой дифференциации становится совершенно не очевидным.

В ГОСТ СССР 27021-86 «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы» данные машины подразделяются на 10 тяговых классов, от 0,2, с номинальным тяговым усилием 1,8-5,4 кН, до 8, с номинальным тяговым усилием 72,0-108,0 кН. При расчетном методе определения номинального тягового усилия трактора (Приложение 2 ГОСТ СССР 27021-86) используют его эксплуатационную массу, и коэффициент, зависящий от вида трактора. Тяговые классы тракторов по ГОСТ СССР 27021-86 коррелируются с категориями сельскохозяйственных тракторов по ИСО 730/1-77, ИСО 730/2-79, и ИСО 730/3-82.

Надо отметить, что классификация лесных машин, особенно лесозаготовительных, на основе тяговых классов далеко не оптимальна по очевидным причинам.

В ГОСТ 27155-86 «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Термины и определения видов» дана достаточно дробная их дифференциация по назначению – 25 терминов, правда только 1 из них («Трактор для выполнения работ по лесовозобновлению и уходу за лесом») касается лесного хозяйства, а остальные 24 относятся к сельскому

хозяйству. Также в данном ГОСТ приведено деление тракторов по виду движителя на 4 типа: колесные, гусеничные, полугусеничные, и колесно-гусеничные. Эти типы движителя в данном ГОСТ отнесены и к сельскохозяйственным, и к лесохозяйственным тракторам.

В ГОСТ 19677-87 «Тракторы сельскохозяйственные. Общие технические условия» указано (п. 1), что данный вид техники классифицируется по тяговому классу - в соответствии с упомянутым выше ГОСТ 27021, по типу и назначению - в соответствии с также упомянутым выше ГОСТ 27155.

В соответствии с дифференциацией сельскохозяйственных тракторов по ГОСТ 27021 и ГОСТ 27155 в ГОСТ 19677-87 установлены понятные и подробные технические требования, которые возможно и следует использовать при формулировании технических заданий на разработку данной техники, или требований к данной технике при проведении тендеров на ее закупку. Например, в ГОСТ 19677-87 содержатся требования по максимальной скорости движения тракторов (не менее), максимальным преодолеваемым подъемам, глубина преодолеваемых вброд водных препятствий, емкости топливных баков, наличию/отсутствию вала отбора мощности, комплектности, нормативам приемки и технических испытаний.

Отдельно для сельскохозяйственных тракторов и машинно-тракторных агрегатов на их базе в ГОСТ 26955-86, ГОСТ 26954-86, ГОСТ 26953-86, «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. Методы определения воздействия движителей на почву метод определения максимального нормального напряжения в почве» установлены весьма важные и для лесных машин требования по максимальному давлению на почву колесного и гусеничного движителей, а также нормальному напряжению в почве на глубине 0,5 м, в зависимости от влажности верхнего слоя почвы и сезона проведения работ (весна; лето-осень).

В [6] сказано, что термины «малогабаритные тракторы» и «мини-тракторы» являются синонимами. Так же в [6] отмечено «В зависимости от массы и мощности двигателя малогабаритные тракторы подразделяются на три типа: легкий, средний, тяжелый», однако никаких цифровых придержек данной дифференциации не приведено, ни по массе, ни по установленной мощности двигателя.

В [12] приведены две классификации малогабаритных тракторов, по мощности двигателя:

1. Легкие – с мощностью до 11,03 кВт; Средние – с мощностью от 11,03 до 22,07 кВт; Тяжелые – с мощностью более 22,07 кВт.

2. Субкомпактные – с мощностью до 18,39 кВт; Компактные – с мощностью от 18,39 до 29,42 кВт; Тяжелые компактные – с мощностью от 33,1 до 44,13 кВт.

По поводу этих классификационных признаков надо отметить следующие их недостатки:

В первой предложенной классификации категория тяжелые не является замкнутой (более 22,07 кВт), иначе говоря, данная цифра не имеет верхнего предела, и может доходить до каких угодно значений, хотя на уровне мощности двигателя сверхтяжелого трактора, например, Т-800 (Т-75.01) с установленной мощностью двигателя 603,11 кВт.

Во второй классификации названия категорий претендуют на обозначение габаритов машины, но на деле они также ориентированы только на установленную мощность двигателя.

Из проанализированных выше классификаций строительных, сельскохозяйственных, и лесных машин становится очевидно, что собственно термин «габарит», под которым принято понимать предельные внешние очертания предметов, иначе говоря размеры в трех плоскостях, ни в одной из данных классификаций не рассматривался.

В [12] также отмечено, что мини-тракторы благодаря компактности и легкости, мини-тракторы оказывают меньше давление на почву, что позволяет сохранять ее качество и плодородие, и образуют значительно меньшую колею, по сравнению, например, с

тяжелыми (обычными) тракторами. Это совпадает с пунктами перечня достоинств такой техники, который приведен в настоящей статье выше.

Логично предположить, что важным классификационным признаком термина «мини-трактор» или «малогабаритный трактор», особенно применительно к сельскому и лесному хозяйству, включая рубки лесных насаждений, будет давление трактора на почву (почвогрунт), а также, возможно, глубина оставляемой колеи, при определенном сложении и влажности почвы (почвогрунта) ездовой поверхности.

С точки зрения, например, лесохозяйственного применения мини-тракторов, например, на выборочных рубках лесных насаждений, глубина колеи является важной с точки зрения повреждаемости корневых систем оставляемых на доращивание деревьев [15].

При этом следует учитывать, реологические свойства почвогрунтов и их способности накапливать деформации в процессе циклического нагружения.

Ранее действовали 2 нормативных документа:

1. «Лесоводственные требования к технологическим процессам рубок ухода» (1993 г.), которые рекомендовали разрабатывать и использовать при проведении рубок ухода в летний период (при непромерзшем грунте) машины, не оказывающих сильных отрицательных воздействий на почву, с удельным давлением не более 60 кПа для гусеничных и 120 кПа для колесных движителей.

2. В «Лесоводственных требованиях к технологическим процессам лесосечных работ» (1993 г.) записано «… удельное давление при нормальной нагрузке в рабочем режиме должно быть не более 70 кПа для гусеничных и 150 кПа для колесных движителей.

Однако очевидно, что этих требований недостаточно, ведь основной задачей является не повредить критически почву и корни. Лимит давления этого не обеспечит. Ведь если с пасеки надо вывезти ликвидный запас древесины, например, 100 $м^3$, возможно использовать 2 крайних варианта: тяжелый форвардер, с грузоподъемностью (объемом воза) 25 $м^3$, и тогда потребуется 4 рейса, или легкий трактор, с грузоподъемностью 2 $м^3$ и тогда потребуется 50 рейсов. Или какие-то промежуточные варианты. И весьма вероятно, что за 50 рейсов легкий трактор создаст на волоке колею значительно больше, чем тяжелый за 4 рейса.

Известны различные математические модели, позволяющие прогнозировать уплотнение и глубину колеи с ростом числа проходов [7, 8, 14]. При этом при воздействии одного и того же трактора на различные по составу и влажности почвогрунты динамика образования колеи может быть разной.

Очевидно, что на каких-то почвогрунтах легкий трактор не нанесет большого ущерба и при нескольких десятках проходов, а тяжелый промнет ездовую поверхность сразу и зароется (утонет). При других почвогрунтах легкий трактор за много проходов промнет ездовую поверхность и зароется (утонет) и лучше использовать тяжелую и более грузоподъемную машину, при значительно меньшем числе проходов. Т.е., на некоторых почвогрунтах лучшим принципом будет «40 раз по разу», а на некоторых других наоборот - лучше «1 раз – 40 раз».

Исходя из всего сказанного выше можно заключить, что мини-тракторы, или же малогабаритны тракторы – лесные машины на их базах будет оптимально использовать на малообъемных рубках лесных насаждений, включая рубки ухода за лесом, особенно осветления и прочистки [4]. Других видах выборочных рубок леса, где важна компактность, и вытекающая из нее возможность маневрирования между оставляемыми на доращивание деревьями, и другими элементами леса. При этом следует учитывать динамику образования колеи такими машинами, с учетом особенностей физико-механических свойство почвогрунтов и прогнозируемого числа рейсов машин по одному следу.

На лесохозяйственных работах рассматриваемый тип машин может быть эффективно использован для борьбы с лесными пожарами, в качестве средств доставки необходимого оборудования и персонала, на малообъемных работах по искусственному и комбинированному лесовосстановлению, а также в лесных питомниках [3].

Очень перспективным направлением совершенствования малогабаритных лесных машин является их создание на беспилотных платформах, как колесных, так и гусеничных. В настоящее время такое направление уже находи свое применение в лесных питомниках по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой, для перемещения кассет в теплицы, и перемещения сеянцев на площадки закаливания, в частности в рамках выполнения работ за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, https://rscf.ru/project/23-16-00092/. Кроме этого, данное направление очень перспективно при проведении ряда лесохозяйственных работ в лесном фонде на новых территориях Российской Федерации - Донецкой Народной Республики (ДНР), Луганской Народной Республики (ЛНР), Запорожской и Херсонской областей. И, по всей видимости, в Курской области. Там, где в лесах оставлено большое количество мин и других взрывоопасных предметов.

Список литературы

1. Ахмадулина Н.Р., Галиев И.Х., Ибрагимов Р.А. Мини-экскаваторы - средства малой механизации при строительстве // Механизация и автоматизация строительства. Сборник статей. Под редакцией К.С. Галицкова, М.В. Шувалова, Б.Г. Кима, Т.В. Дормидонтовой. Самара, 2021. С. 54-59.
2. Ахмадулина Н.Р., Галиев И.Х., Ибрагимов Р.А. Нормирование работ мини-экскаваторов // Эксперт: теория и практика. 2022. № 4 (19). С. 19-25.
3. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Мини-тракторы и райдеры в садово-парковом хозяйстве // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. 2020. С. 122-125.
4. Григорьева О.И., Нгуен Ф.З. Перспективная техника для проведения рубок ухода за лесом // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. материалы научно-технической конференции. 2016. С. 112-114.
5. Кухар И.В., Шмарин Н.В. Малогабаритные экскаваторы для работы на площадках ограниченных размеров // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 139-142.
6. Мыльников В.В., Кондрашкин О.Б. Машины и механизмы в ландшафтном строительстве: мини-тракторы и малогабаритные энергетические машины. : учеб. Пособие. Нижегор. гос. архитектур.- строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2021. – 114 с.
7. Никифорова А.И., Григорьева О.И. Моделирование воздействия движителей лесных машин на почвы лесосек // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5-4 (16-4). С. 320-323.
8. Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Пелымский А.А., Григорьева О.И. Определение осадки при движении лесозаготовительной машины по двуслойному основанию // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 2 (139). С. 87-91.
9. Пискарев А.Н., Мельников В.Н., Мелешко Д.Н., Трушин А.А. Комплексная методика обоснования рационального калибра боеприпасов для малокалиберного автоматического вооружения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 3 (93). С. 56-65.
10. Синкин С.В., Куликов Ю.В. Малокалиберная артиллерия - перспективы и направления развития // Морской сборник. 2025. № 5 (2138). С. 65-68.
11. Снегирева А.В., Мартыновская С.Н. Перспективы применения малогабаритных лесных машин // Перспективы развития лесопромышленного комплекса России. Сборник статей Региональной научно-практической конференции. 2019. С. 110-113.
12. Тельнов Л.И., Осиновская Л.М. О мини-тракторах российского и иностранного производства // Аграрная наука в контексте времени. Сборник трудов LX международной научно-практической конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 2025. С. 157-162.

13. Хитров Е.Г., Боровский П.С. Оценка тягово-сцепных свойств малогабаритных трелевочных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. отв. ред. В.А. Соколова. 2019. С. 100-109.

14. Хитров Е.Г., Хахина А.М., Дмитриева М.Н., Песков В.Б., Григорьева О.И. Уточненная модель для оценки тягово-сцепных свойств колесного движителя лесной машины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 108-119.

15. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнения почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока с учетом изменчивости трассы движения // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2010. № 6 (111). С. 61-64.

References

1. Akhmadulina N.R., Galiev I.Kh., Ibragimov R.A. Mini excavators - means of small-scale mechanization in construction // Mechanization and automation of construction. Collection of articles. Edited by K.S. Galitskov, M.V. Shuvalov, B.G. Kim, T.V. Dormidontova. Samara, 2021. pp. 54-59.

2. Akhmadulina N.R., Galiev I.Kh., Ibragimov R.A. Rationing of mini excavators // Expert: theory and practice. 2022. No. 4 (19). pp. 19-25.

3. Grigorev I.V., Grigoreva O.I. Mini tractors and riders in gardening and park management // Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Editor-in-chief N.S. Zakharov. 2020. pp. 122-125.

4. Grigoreva O.I., Nguyen F.Z. Promising equipment for logging and forest maintenance // Forests of Russia: politics, industry, science, education. materials of the scientific and technical conference. 2016. pp. 112-114.

5. Kukhar I.V., Shmarin N.V. Small excavators for work on sites of limited size // Technologies and equipment of gardening and landscape construction. Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. 2017. pp. 139-142.

6. Mylnikov V.V., Kondrashkin O.B. Machines and mechanisms in landscape construction: mini tractors and small-sized power machines. : textbook. Stipend. Nizhny Novgorod State University of Architecture."He's building. University of Technical Sciences of Nizhny Novgorod: NGASU, 2021. 114 p.

7. Nikiforova A.I., Grigoreva O.I. Modeling of the impact of forest machinery propellers on the soils of logging areas // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2015. Vol. 3. No. 5-4 (16-4). pp. 320-323.

8. Nikiforova A.I., Khitrov E.G., Pelymsky A.A., Grigoreva O.I. Determination of precipitation during movement of a logging machine on a two-layer base // Scientific notes of Petrozavodsk State University. 2014. No. 2 (139). pp. 87-91.

9. Piskarev A.N., Melnikov V.N., Meleshko D.N., Trushin A.A. A comprehensive methodology for substantiating the rational caliber of ammunition for small-caliber automatic weapons // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2016. No. 3 (93). pp. 56-65.

10. Sinkin S.V., Kulikov Yu.V. Small-caliber artillery - prospects and directions of development // Marine collection. 2025. No. 5 (2138). pp. 65-68.

11. Snegireva A.V., Martynovskaya S.N. Prospects of using small-sized forest machines // Prospects for the development of the Russian timber industry. Collection of articles of the Regional scientific and practical conference. 2019. pp. 110-113.

12. Telnov L.I., Osinovskaya L.M. About mini tractors of Russian and foreign production // Agrarian science in the context of time. Proceedings of the LX International Scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. Tyumen, 2025. pp. 157-162.

13. Khitrov E.G., Borovsky P.S. Evaluation of traction and coupling properties of small-sized skidding tractors // Collection of articles based on the materials of the scientific and technical

conference of the Institute of Technological Machines and Forest Transport based on the results of scientific research in 2018. edited by V.A. Sokolov. 2019. pp. 100-109.

14. Khitrov E.G., Khakhina A.M., Dmitrieva M.N., Peskov V.B., Grigoreva O.I. A refined model for evaluating the traction properties of a wheeled propulsion system of a forest vehicle // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2016. No. 217. pp. 108-119.

15. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Lepilin D.V., Zhukova A.I. Modeling soil compaction in the lateral lanes of a skidding portage, taking into account the variability of the traffic route // Scientific Notes of Petrozavodsk State University. 2010. No. 6 (111). pp. 61-64.

DOI: 10.58168/Forestry2025_521-524
УДК 623.437.3.093; 629.1.032.001; 629.36

МЕЖОСЕВОЙ МЕХАНИЗМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Р.Ю. Добрецов
д.т.н., доцент, профессор Высшей школы транспорта
С.Б. Добрецова
старший преподаватель Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,г. Санкт-Петербург, Россия
С.А. Войнаш
младший научный сотрудник,
Рубцовский индустриальный институт (филиал) Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Рубцовск, Россия
В.А. Соколова
к.т.н., заместитель директора по перспективному развитию и инновациям,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация.
Рассмотрен вариант построения кинематической схемы управляемого межосевого механизма распределения мощности на основе симметричного дифференциала. Проанализированы режимы работы узла. Показано, что его использование может быть целесообразно в первую очередь в трансмиссиях лесных и транспортных машин для перевозки грузов.

Ключевые слова: симметричный дифференциал; планетарный механизм; опорные реакции; использование сцепного веса; проходимость; управляемость; устойчивость движения.

.

INTERAXLE POWER DISTRIBUTION MECHANISM FOR TRANSMISSIONS OF FORESTRY AND TRANSPORT WHEELED VEHICLES

R.Yu. Dobretsov
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Higher School of Transport
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
S.B. Dobretsova
Senior Lecturer Higher School of Applied Mathematics and Computational Physics
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia
S.A. Voinash
Junior Researcher, Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University, Rubtsovsk, Russia
V.A. Sokolova
Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Prospective Development and Innovations, Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russia

© Добрецов Р. Ю., Добрецова С. В., Войнаш С. А., Соколова В. А., 2025

Abstract. A kinematic design for a controlled interaxle power distribution mechanism based on a symmetrical differential is considered. The unit's operating modes are analyzed. It is shown that its use may be particularly beneficial in transmissions for forestry and cargo transport vehicles.

Keywords: symmetric differential, planetary gear mechanism, supporting reactions, use of coupling weight, cross-country ability, controllability, motion stability.

В трансмиссиях колесных машин с несколькими ведущими мостами необходимо предусматривать наличие межосевой дифференциальной связи для предотвращения явления циркуляции мощности. В простейшем случае эту функцию может выполнять симметричный дифференциал (см. рис. 1). Для увеличения проходимости в тяжелых дорожных условиях предусматривается принудительная блокировка дифференциала.

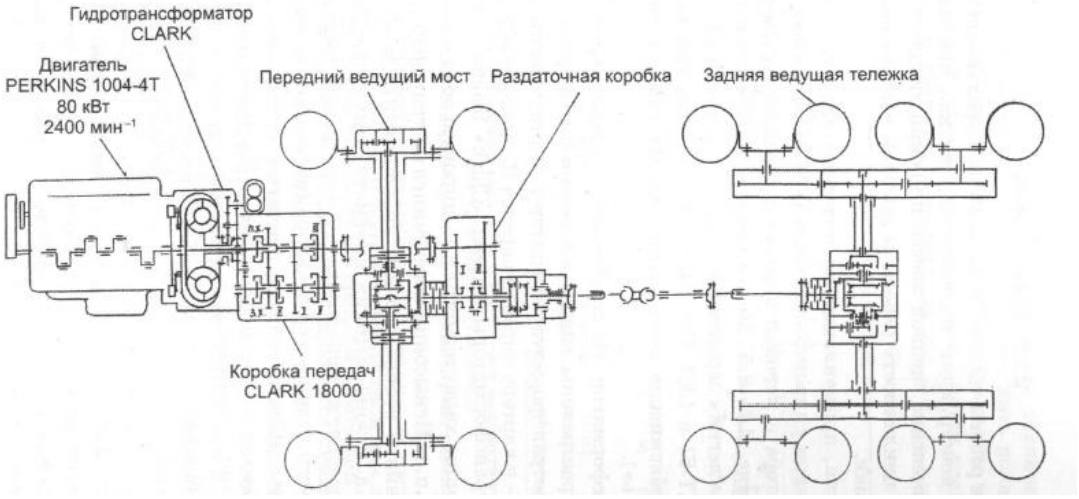


Рисунок 1 – Схема трансмиссии лесной колесной машины на примере трактора «FMG LOKOMO-810» [1]

Для лесных и транспортных машин, используемых для перемещения грузов, характерно значительное перераспределение нагрузок между ведущими мотами в порожнем и загруженном состоянии. Соответственно, изменяются значения максимальной силы тяги по сцеплению с грунтом для этих мостов. Аналогичный эффект наблюдается при преодолении затяжных подъемов и спусков.

Таким образом, улучшить тягово-сцепные свойства подобных машин представляется возможным, обеспечив управление распределением мощности между ведущими мостами в характерном диапазоне от 1:1 до 1:2.

Для специальных машин может быть востребовано плавное изменение соотношения мощностей между мостами. Для колесных форвардеров и грузовых автомобилей достаточно переключения между режимами симметричного и несимметричного дифференциала на остановленном транспортном средстве.

Принципы построения кинематической схемы управляемого межосевого механизма распределения мощности (МРМ) на основе несимметричного дифференциала рассмотрены в статье [2]. Перераспределение мощностей от пропорции 1:2 до 1:1 достигается подключением к несимметричному дифференциалу планетарного редуктора. Его наличие увеличивает массу и момент инерции трансмиссии, а при включении снижается значение КПД. Устройство может быть использовано на грузовых автомобилях, для трансмиссий которых характерно наличии как раз несимметричного дифференциала.

Для трансмиссии форвардера (см. рис.1), в составе которой предусмотрен межосевой симметричный дифференциал, управляемый межосевой МРМ предлагается строить на его базе. Максимальное значение межосевого передаточного отношения для такого МРМ

должно соответствовать максимальной асимметрии распределения мощности между мостами (например, 1:2, см. [1]). Дополнительный редуктор может быть выполнен вальными или планетарным. Если в качестве элементов управления использовать дисковые фрикционы или тормоза, то з счет технологии контроля буксования дисков в пакете [3] можно добиться плавного изменения значения передаточного отношения узла. Переключения будет возможно производить во всем диапазоне нагрузок на стоящем и движущемся транспортном средстве. МРМ может быть встроен в систему контроля за распределением мощности по ведущим колесам, расширяющую возможности применяемой на автомобилях системы динамической стабилизации. Практическое применение подобных технических решений может быть востребовано в гористой местности.

Использование в качестве элементов управления синхронизированных и не синхронизированных зубчатых муфт может значительно снизить массу и габариты узла, упростить систему управления, снизить себестоимость. Однако в этом случае переключение между режимами работы МРМ предусматривается дискретное и выполнять его необходимо на неподвижном транспортном средстве.

Одна из возможных кинематических схем планетраного шестеренного МРМ показана на рис. 2.

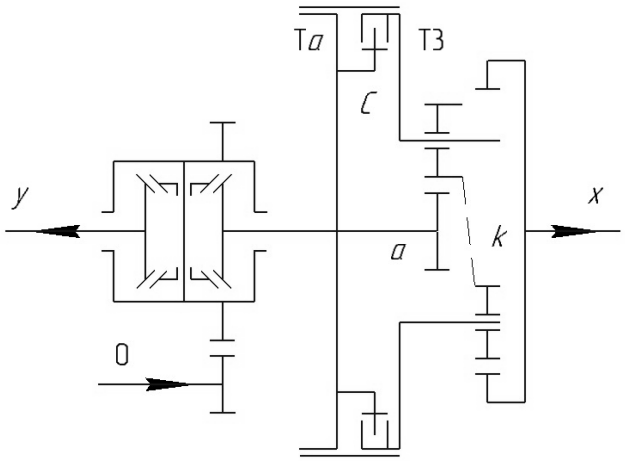


Рисунок 2 – Вариант упрощенной кинематической схемы управляемого межосевого МРМ: 0 и *a* – ведущее и промежуточное звенья; *x* и *y* – ведомые (выходные) звенья привода заднего и переднего мостов; Т*a*, Т3, *С* – элементы управления; *k* – кинематический параметр планетарного ряда

Устройство состоит из двух трехзвенных планетарных механизмов. Один из них – простой конический симметричный дифференциал (или его аналог – простой планетарный ряд с кинематическим параметром равным (+2)).

Второй планетарный механизм имеет положительный кинематический параметр, значение которого выбирается из условия обеспечения потребного максимального передаточного отношения МРМ, но ограничено конструктивно (см., например, источник [4]: $1,6 \le |k| \le 4,0$).

Переключение режимов работы осуществляется за счет элементов управления – тормозов и блокирующей муфты.

Характерно четыре режима работы.

1. Симметричный дифференциал.

Включен блокирующий фрикцион *С.* Тормоза Т*a* и Т3 отключены. Фрикцион *С* следует конструировать по схеме «постоянно включенного» элемента управления (который отключается при подаче управляющего воздействия).

2. Несимметричный дифференциал.

Включен тормоз Т3, другие элементы управления отключены. Межосевое передаточное отношение определяется зависимостью $u^* = M_y / M_x = 1/k$.

3. Привод на переднюю ось.

Включен тормоз Тa , другие элементы управления отключены.

4. Плавное изменение межосевого передаточного отношения может быть реализовано на режиме 2 при управляемом буксовании тормоза Т3.

Одновременное включение любой пары элементов управления блокирует механизм. Этот режим не рассматривается, как рабочий.

Провести кинематический и силовой анализ МРМ можно, используя традиционные подходы (см., например, источник [4]).

Усложнение конструкции МРМ приведет к увеличению его стоимости и, потенциально, – к снижению надежности. Первый аспект требует дополнительных исследований, связанных с оценкой эксплуатационных затрат. Снижение надежности неизбежно при усложнении механической системы, но в данном случае оно минимально: при отказах системы управления снизится энергоэффективность МРМ, но нет оснований ожидать потери подвижности шасси.

Список литературы

1. Кочнев А. М. Рабочие режимы отечественных колесных трелевочных тракторов : монография / А. М. Кочнев; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2008. – 519 с.

2. Управляемый межосевой механизм распределения мощности / А. П. Чайкин, Р. Ю. Добрецов, С. А. Войнаш, В. А. Соколова, Р. Р. Загидуллин, А. В. Теппоев, А. А. Иванов // Грузовик. 2023. № 5. С. 3–7. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-5-3-7.

3. Bosch. Автомобильный справочник: Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.

4. Автоматические коробки передач / Харитонов С.А. – Москва: ООО «Издательство Аристель», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 335 с.

References

1. Kochnev, A. M. Operating modes of domestic wheeled skidders: a monograph / A. M. Kochnev; Federal Education Agency, St. Petersburg State Polytechnical University. – St. Petersburg: Publishing house of the Polytechnical University, 2008. – 519 p.

2. Controlled interaxle power distribution mechanism / A. P. Chaikin, R. Yu. Dobretsov, S. A. Voinash, V. A. Sokolova, R. R. Zagidullin, A. V. Teppoev, A. A. Ivanov // Truck. 2023. No. 5. pp. 3–7. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-5-3-7.

3. Bosch. Automotive Handbook: Translated from English – 2nd edition, revised and expanded – Moscow: ZAO «KZhI «Za Rulem», 2004. – 992 p.

4. Automatic transmissions / Kharitonov S.A. – Moscow: OOO «Izdatelstvo Aristel», OOO «Izdatelstvo AST», 2003. – 335 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_525-530
УДК 656.025.2

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В МЕГАПОЛИСАХ

С.В. Дорохин[1], Р.А. Котов[2]

[1]д.т.н., директор автомобильного факультета
[2]аспирант автомобильного факультета
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
г. Воронеж, Россия

Аннотация.

Статья посвящена анализу ключевых направлений развития пассажирских перевозок в российских мегаполисах, определенных Транспортной стратегией РФ до 2030 года с прогнозом до 2035 года. Авторы рассматривают такие приоритетные аспекты, как формирование магистрального транспортного каркаса, цифровая трансформация через внедрение модели «мобильность как услуга» (MaaS) и биометрических технологий, а также снижение негативного экологического воздействия транспорта. Особое внимание уделяется финансированию через национальный проект «Безопасные качественные дороги» и повышению безопасности дорожного движения по принципу «нулевой терпимости». Статья подчеркивает необходимость синхронизации усилий на всех уровнях управления и ориентации на потребности пассажиров для создания комфортной, безопасной и устойчивой городской транспортной среды.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, городская мобильность, эффективное управление, интеллектуальные транспортные системы, безопасность дорожного движения.

KEY DIRECTIONS FOR PASSENGER TRANSPORTATION DEVELOPMENT IN MEGAPOLITIES

S.V. Dorokhin[1], R.A. Kotov[2]

[1]Doctor of Engineering, Director of the Automobile Faculty
G.F. Morozov Voronezh State Forest Engineering University
Voronezh, Russia
[2]Postgraduate Student, Automobile Faculty
G.F. Morozov Voronezh State Forest Engineering University
Voronezh,Russia

Annotation.

This article analyzes key areas for passenger transportation development in Russian megacities, as defined by the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast to 2035. The authors examine priority aspects such as the development of a core transport framework, digital transformation through the implementation of the mobility-as-a-service (MaaS) model and biometric technologies, and reducing the negative environmental impact of transport. Particular attention is paid to funding through the national project "Safe High-Quality Roads" and improving road safety based on the "zero tolerance" principle. The article emphasizes the need to synchronize efforts at all levels of governance and focus on passenger needs to create a comfortable, safe, and sustainable urban transport environment.

Keywords: passenger transport, urban mobility, efficient management, intelligent transport systems, road safety.

© Дорохин С. В., Котов Р. А., 2025

Развитие пассажирских перевозок в мегаполисах Российской Федерации представляет собой один из ключевых приоритетов государственной транспортной политики, обусловленный не только ростом численности населения в крупнейших городских агломерациях, но и необходимостью обеспечения устойчивого социально-экономического развития страны. Согласно Транспортной стратегии [1], мегаполисы рассматриваются как центры концентрации экономической активности, инноваций и человеческого капитала, где эффективность транспортной системы напрямую влияет на качество жизни граждан, конкурентоспособность бизнеса и экологическую устойчивость городской среды. В условиях урбанизации, когда к 2035 году ожидается дальнейший рост населения в 20 крупнейших агломерациях на 4,8 процента, транспортная инфраструктура становится не просто средством перемещения, а фундаментальным элементом городской экосистемы, определяющим темпы и направления ее развития [2]. Современные мегаполисы сталкиваются с вызовами, связанными с перегрузкой улично-дорожной сети, высоким уровнем загрязнения окружающей среды, снижением безопасности дорожного движения и неудовлетворительным качеством транспортного обслуживания, что требует системного и комплексного подхода к модернизации пассажирских перевозок (рис. 1) [3].

Рисунок 1 – Основные направления развития пассажирских перевозок в мегаполисах

Ключевым элементом транспортной политики в крупнейших городских агломерациях выступает создание и последующее развитие магистральной транспортной системы, ориентированной на массовые пассажирские перевозки. Такая система объединяет различные виды общественного транспорта, функционирующие на специально выделенных полосах или рельсовых путях: метрополитен, трамвай, троллейбус, скоростные автобусы, а также пригородные железнодорожные маршруты [4]. Главная цель – обеспечить регулярное, быстрое и ёмкое сообщение между жилыми массивами и ключевыми точками притяжения: деловыми кварталами, производственными зонами, торговыми и культурно-досуговыми центрами.

В таких мегаполисах, как Москва и Санкт-Петербург, уже активно реализуются масштабные инфраструктурные проекты: расширяется сеть метрополитена, запускаются Московские центральные диаметры – единая система пригородно-городских железнодорожных маршрутов, позволяющая разгрузить перегруженные радиальные направления и сократить время поездок. Согласно стратегическим планам, к 2035 году завершится строительство метрополитена в городах-миллионниках, а также будет развёрнута сеть городских электричек, полностью интегрированных в общую систему

общественного транспорта. Особенно перспективны такие решения для городов вроде Екатеринбурга, Казани, Новосибирска и Самары, где уже имеющаяся железнодорожная инфраструктура позволяет эффективно организовать внутригородские перевозки.

Не менее значимой задачей является модернизация существующих рельсовых маршрутов. На тех направлениях, где пиковый пассажиропоток превышает 600 человек в час, предусмотрена реконструкция трамвайных линий; при потоке свыше 2000 человек – строительство новых линий, если это технически и градостроительно возможно. Такой подход не только увеличивает пропускную способность, но и повышает уровень комфорта и безопасности для пассажиров. При этом приоритет отдаётся тем решениям, которые демонстрируют наибольшую экономическую целесообразность на всём жизненном цикле проекта. Например, в случаях, когда строительство трамвайной линии неоправданно, предпочтение отдаётся выделенным маршрутам для скоростных автобусов или электробусов – особенно в малоплотной застройке или на маршрутах с умеренной загрузкой. Это позволяет гибко адаптировать транспортную политику под специфику каждого города.

Финансирование модернизации городской транспортной инфраструктуры осуществляется в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги», в частности – через федеральный проект «Региональная и местная дорожная сеть». К 2030 году планируется привести в нормативное состояние и поддерживать на этом уровне 85% дорожной сети в 105 крупнейших агломерациях. Работы включают не только капитальный ремонт проезжей части, но и комплексное улучшение состояния улично-дорожной сети, повышение её связанности, а также строительство обходных трасс вокруг крупных городов. Такие обходы не только ускоряют транзитные и межрегиональные перевозки, но и снижают экологическую нагрузку на центральные районы — за счёт уменьшения уровня шума и выбросов от транспорта.

Неотъемлемой частью этого процесса становится внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС), которые позволяют оптимизировать трафик, сокращать время в пути, повышать безопасность и эффективность использования дорожной инфраструктуры [5-7]. К 2035 году ожидается, что ИТС будут внедрены в городах с совокупным населением 80 миллионов человек – что подчёркивает масштабность и системность цифровой трансформации городского транспорта в России.

Цифровая трансформация является одним из ключевых драйверов развития пассажирских перевозок в мегаполисах. Она направлена на повышение удобства, скорости и качества обслуживания пассажиров. Одним из наиболее перспективных направлений является развитие сервисной модели «мобильность как услуга» (Mobility as a Service, MaaS). Эта модель предполагает интеграцию различных видов транспорта — от общественного и такси до каршеринга и средств индивидуальной мобильности — в единую цифровую платформу, позволяющую пользователю планировать, бронировать и оплачивать поездку от двери до двери с помощью одного приложения. Внедрение MaaS способствует формированию мультимодальных поездок, когда пассажир может комбинировать несколько видов транспорта для достижения оптимального маршрута по времени, стоимости и комфорту. К 2035 году доля пассажиров, использующих безналичную оплату проезда на общественном транспорте в крупнейших агломерациях, должна достичь 85 процентов, что станет возможным благодаря развитию единой билетной системы и интеграции цифровых платежных решений. Кроме того, планируется создание цифрового профиля пассажира, который будет объединять данные о льготах, предпочтениях, истории поездок и позволит персонализировать транспортные услуги, делая их более удобными и доступными.

Биометрические технологии также играют важную роль в повышении качества обслуживания и безопасности. К 2035 году 80 процентов пассажиров пригородных, междугородних и международных автомобильных, железнодорожных и воздушных перевозок должны идентифицироваться посредством применения биометрических

технологий. Это позволит значительно ускорить прохождение предрейсовых процедур, таких как регистрация, досмотр и посадка, а также повысить уровень транспортной безопасности за счет точной идентификации пассажиров. Внедрение таких технологий требует не только технической модернизации инфраструктуры — оснащения аэропортов, вокзалов и остановочных пунктов соответствующим оборудованием — но и разработки правовой базы, обеспечивающей защиту персональных данных граждан.

Особое внимание в стратегии уделяется вопросам экологической устойчивости и снижения негативного воздействия транспорта на окружающую среду. Личный автомобиль является главным источником загрязнения воздуха в крупнейших агломерациях, на его долю приходится более 30 процентов общего объема выбросов в атмосферу. В Москве этот показатель достигает 90 процентов. Для решения этой проблемы предполагается комплексный подход, включающий как стимулирование перехода на более экологичные виды транспорта, так и ограничение использования личных автомобилей в центральных частях городов. Приоритетное развитие внеуличного (метро, МЦД) и городского электрического транспорта (трамвай, троллейбус, электробус) позволяет не только сократить выбросы, но и повысить энергоэффективность транспортной системы. К 2035 году планируется сокращение «углеродного следа» от эксплуатации общественного транспорта в крупных и крупнейших агломерациях на 70 процентов. Это будет достигнуто за счет масштабного обновления подвижного состава, перехода на электротягу и альтернативные виды топлива, а также за счет повышения доли пассажирских перевозок, осуществляемых общественным транспортом. К 2035 году доля пассажиропотока на общественном транспорте в общем объеме в крупных и крупнейших агломерациях должна увеличиться с 54 до 69 процентов.

Формирование комфортной и безопасной городской среды также предполагает развитие инфраструктуры для пешеходов и пользователей средств индивидуальной мобильности. В современных мегаполисах все большее значение приобретает концепция «15-минутного города», где все необходимые для жизни объекты — работа, магазины, школы, парки — находятся в пешей или велосипедной доступности. Для реализации этой концепции необходимо создание безопасных, удобных и привлекательных пешеходных зон, велодорожек и велоинфраструктуры. Нормативно-правовая дифференциация условий использования личного автомобильного транспорта в центральных частях крупных городов при одновременном развитии пассажирского транспорта общего пользования и инфраструктуры для средств индивидуальной мобильности является важным шагом в этом направлении. Концентрация основных транспортных потоков на небольшом числе магистральных улиц скоростного и грузового движения, проходящих по возможности вне жилой застройки, позволит снизить нагрузку на жилые кварталы и повысить качество жизни их жителей.

Безопасность дорожного движения остается одной из главных задач. Несмотря на то, что по итогам 2019 года в крупнейших агломерациях целевой уровень смертности в дорожно-транспортных происшествиях был достигнут (11,5 погибших на 100 тысяч населения при целевом значении 11,7), к 2030 году планируется дальнейшее снижение этого показателя до 4 человек на 100 тысяч населения. Для достижения этой цели предполагается внедрение целого комплекса мер: совершенствование стандартов организации дорожного движения, внедрение систем автоматического весогабаритного контроля, развитие систем превентивного информирования водителей о дорожной обстановке, а также повышение ответственности за нарушения правил дорожного движения. Принцип «нулевой терпимости» к смертности на дорогах становится основополагающим, что требует постоянного совершенствования нормативно-правовой базы и активного применения современных технологий контроля и управления движением.

Кадровое обеспечение и развитие человеческого капитала являются неотъемлемой частью успешной реализации стратегии. Цифровая трансформация и внедрение новых технологий требуют от работников транспортной отрасли новых компетенций.

Необходимо развивать программы повышения цифровой грамотности, обучать персонал работе с новыми системами и оборудованием. Особое внимание уделяется подготовке специалистов в области эксплуатации и обслуживания автономного транспорта, систем искусственного интеллекта, цифровых платформ и ИТС. Создание условий для привлечения, подготовки, удержания и развития высококвалифицированных научных и научно-педагогических кадров, а также инструкторского состава является критически важным для долгосрочного развития отрасли.

Таким образом, развитие пассажирских перевозок в мегаполисах — это многогранный и динамичный процесс, требующий синхронизации усилий на всех уровнях управления — от федерального до муниципального. Он включает в себя не только строительство и модернизацию физической инфраструктуры, но и внедрение передовых цифровых технологий, формирование новой модели управления, основанной на данных и аналитике, переход к экологически устойчивым решениям и, самое главное, ориентацию на потребности и ожидания пассажиров. Успешная реализация стратегических инициатив позволит не только решить текущие проблемы перегрузки и загрязнения, но и создать современную, комфортную и безопасную транспортную среду, которая станет важнейшим фактором повышения качества жизни в российских мегаполисах и обеспечит их устойчивое развитие на десятилетия вперед.

Список литературы

1. О транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27.11.2021 № 3363-р // Собрание законодательства Российской Федерации от 2021 г. - № 50 (ч. IV). Ст. 8613.

2. Новиков, А. Н. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города / А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – Белгород-Орел : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 239 с. – ISBN 978-5-361-01180-3.

3. Шевцова, А. Г. Динамика реализации программы VISION ZERO в мировых странах / А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 3(74). – С. 35-42. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-35-42.

4. Новиков, И. А. Управление и организация дорожного движения при оценке единичного элемента системы "ВАДС" / И. А. Новиков, А. Е. Боровской, А. Г. Шевцова // Информационные технологии и инновации на транспорте : Материалы международной научно-практической конференции, Орел, 19–20 мая 2015 года / Под общей редакцией А.Н. Новикова. – Орел: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс", 2015. – С. 231-238.

5. Уровень зрелости интеллектуальной транспортной системы Воронежской агломерации / А. Ю. Артемов, С. В. Дорохин, Д. В. Лихачев [и др.] // Инновации и передовые технологии в развитии транспортных систем : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 15 января 2025 года. – Воронеж: Министерство науки и высшего образования РФ, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 20-24. – DOI 10.58168/IATDTS2025_20-24.

6. Повышение пропускной способности на участках автомобильных дорог / В. А. Зеликов, С. В. Дорохин, Е. В. Шаталов [и др.] // Грузовик. – 2025. – № 4. – С. 53-55. – DOI 10.36652/1684-1298-2025-4-53-55.

7. Глушанков, А. Р. Перспективы применения интеллектуальных транспортных систем в обеспечении комфорта и безопасности дорожного движения / А. Р. Глушанков, С. В. Дорохин, Д. Г. Тертерашвили // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном

комплексе России : Материалы IV международной научной конференции, Красноярск, 23–24 ноября 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. – С. 54-59.

References

1. On the transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035: Order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-r // Collected Legislation of the Russian Federation for 2021 - No. 50 (Part IV). Art. 8613.

2. Novopisny, I. A. Comparative analysis of road safety programs in Germany and the Russian Federation / I. A. Novopisny, A. G. Shevtsova, A. E. Makagonov // Construction equipment and technologies. - 2015. - No. 4 (4). - P. 11-17.

3. Shevtsova, A. G. Dynamics of the VISION ZERO program implementation in countries around the world / A. G. Shevtsova // The world of transport and technological machines. – 2021. – No. 3(74). – P. 35-42. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-35-42.

4. Novikov, I. A. Traffic management and organization in the assessment of a single element of the "VADS" system / I. A. Novikov, A. E. Borovskoy, A. G. Shevtsova // Information technologies and innovations in transport: Proceedings of the international scientific and practical conference, Orel, May 19–20, 2015 / Under the general editorship of A. N. Novikov. – Orel: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "State University - Educational, Scientific and Production Complex", 2015. – P. 231-238.

5. The maturity level of the intelligent transport system of the Voronezh agglomeration / A. Yu. Artemov, S. V. Dorokhin, D. V. Likhachev [et al.] // Innovations and advanced technologies in the development of transport systems: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, January 15, 2025. - Voronezh: Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2025. - Pp. 20-24. - DOI 10.58168/IATDTS2025_20-24.

6. Increasing the throughput capacity on sections of roads / V. A. Zelikov, S. V. Dorokhin, E. V. Shatalov [et al.] // Truck. - 2025. - No. 4. - Pp. 53-55. – DOI 10.36652/1684-1298-2025-4-53-55.

7. Glushankov, A. R. Prospects for the Application of Intelligent Transport Systems in Ensuring Road Traffic Comfort and Safety / A. R. Glushankov, S. V. Dorokhin, D. G. Terterashvili // Resource-saving technologies in the agro-industrial complex of Russia: Proceedings of the IV international scientific conference, Krasnoyarsk, November 23–24, 2023. – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2024. – P. 54–59.

DOI: 10.58168/Forestry2025_531-535
УДК 620.22:544.4:544.723:674.8

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА КОБАЛЬТА И БИОУГЛЯ: ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А.В. Дорошенко
преподаватель кафедры «Химия и биотехнология»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация.
Исследуется эффективность синтезированного композита CoFe2O4@C в процессе фотокаталитического разложения 2,4-динитрофенола по механизму фентоноподобной реакции. Магнитные свойства композита позволяют легко отделять его от реакционной среды после завершения процесса. Полученные результаты подтверждают перспективность использования данного материала для очистки воды от устойчивых органических загрязнителей.

Ключевые слова: биоуголь, фотокатализ, феррит кобальта, фентоноподобная реакция.

COMPOSITES BASED ON COBALT FERRITE AND BIOCHAR: RECYCLING OF TIMBER INDUSTRY WASTE FOR WASTEWATER TREATMENT

A.V. Doroshenko
Lecturer of the Department of Chemistry and Biotechnology,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The effectiveness of the synthesized $CoFe_2O_4$@C composite in the process of photocatalytic decomposition of 2,4-dinitrophenol by the mechanism of a phentone-like reaction is investigated. The magnetic properties of the composite make it easy to separate it from the reaction medium after the process is completed. The results obtained confirm the prospects of using this material for water purification from persistent organic pollutants.

Keywords: biochar, photocatalysis, cobalt ferrite, phentone-like reaction.

Подавляющая часть водных ресурсов Земли (97,5%) — это солёная вода, и лишь 2,5% – пресная. Это приводит к острой нехватке безопасной воды: 1,2 миллиарда человек лишены её, а 2,6 миллиарда живут в условиях плохой санитарии. Прямым следствием этого становится 1,7 миллиона смертей ежегодно [1]. Рост населения, промышленное развитие и методы ведения сельского хозяйства привели к появлению новых загрязняющих веществ, которые попадают в окружающую среду, в том числе фармацевтических препаратов, средств личной гигиены, агрохимикатов и органических красителей, многие из которых относятся к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) [1-3]. В воде было обнаружено более 700 видов органических и неорганических загрязнителей, некоторые из которых представляют серьёзную опасность из-за своей высокой токсичности и канцерогенных свойств.

Основными источниками загрязнения водоёмов красителями являются предприятия текстильной и других отраслей промышленности. Эти соединения наносят значительный ущерб экосистемам: снижают уровень кислорода в воде и подавляют фотосинтез у растений. Особую опасность представляют фенолы — высокотоксичные и канцерогенные вещества, ежегодный выброс которых превышает 10 млн тонн. Большинство красителей

© Дорошенко А. В., 2025

устойчивы к биологическому разложению из-за сложной ароматической структуры и крупных размеров молекул, что затрудняет их естественную утилизацию. Помимо непосредственных проблем, связанных с ухудшением качества воды, надвигающийся кризис, вызванный нехваткой воды, подчеркивает необходимость поиска эффективных решений для очистки воды [1-2].

В последнее десятилетие наблюдается значительный интерес к использованию биоугля, как исходного, так и химически модифицированного, для очистки сточных вод от трудноудаляемых загрязняющих веществ. Этот интерес обусловлен его полезными свойствами, в том числе большой удельной площадью поверхности, низкой стоимостью, пористой структурой и обилием активных кислородных функциональных групп на его поверхности. Можно использовать различные виды недорогой биомассы и, как правило, углеродсодержащие материалы для производства биоугля путём термохимического преобразования в условиях ограниченного доступа кислорода [4-5].

Безметалловые катализаторы на основе биоугля — это экологически чистые перспективные материалы для процесса очистки воды, позволяющие преодолеть проблемы, связанные с возможной агломерацией и выщелачиванием металлов, и, как следствие, избежать вторичного загрязнения воды. Однако биоуголь может оказаться неподходящим из-за недостаточного размера и объёма пор, межмолекулярных пространств и закупоренных пор. Чтобы расширить функциональные возможности исходного биоугля как носителя катализатора в процессах очистки воды, можно использовать методы химической модификации [4].

В целом легирование биоугля металлами и гетероатомами служит в качестве каталитической площадки, тем самым повышая каталитическую активность модифицированного материала. Биоуголь обеспечивает стабильную среду для координации металлов, предлагая множество активных центров для одноатомных катализаторов на основе биоугля [6].

Биоуголь зарекомендовал себя как хороший носитель для фотокатализа, повышающий фотокаталитическую эффективность оксидов металлов или металлов. Благодаря своим уникальным характеристикам биоуголь имеет ряд преимуществ при использовании в фотокатализе: он может значительно снизить скорость рекомбинации электронно-дырочных пар, образующихся в ходе фотореакции, благодаря своим превосходным проводящим свойствам, предотвратить выщелачивание металлов и повысить фоточувствительность и фотодеградацию композитов на основе биоугля под воздействием видимого света. Использование биологических отходов в качестве исходного материала делает процесс производства экологически чистым и недорогим [4, 7].

Передовые процессы окисления (AOPs) были разработаны как многообещающий подход для разложения широкого спектра устойчивых органических загрязнителей. Эти процессы основаны на образовании высокореактивных радикалов, которые могут окислять большинство органических молекул, вплоть до полной минерализации загрязняющего вещества, что предотвращает образование вредных продуктов распада [2, 7].

Одним из примеров AOPs является реакция Фентона, в которой Fe^{2+} и Fe^{3+} образуют в растворе каталитический цикл для генерации радикалов из H_2O_2. Образование радикалов в этих системах хорошо изучено и обычно включает в себя образование гидроксильных радикалов (•OH) как основных активных форм кислорода, а также супероксид-анионов ($\bullet O_2^-$) и гидропероксильных радикалов ($\bullet OH_2$) в качестве вторичных форм. В целом гетерогенные реакции Фентона являются, пожалуй, наиболее распространёнными методами очистки воды, что объясняется обилием катализаторов на основе железа и высокой способностью к разложению широкого спектра загрязняющих веществ.

Ещё одним фактором является использование H_2O_2 в качестве окислителя. Она может быть токсичной в высоких концентрациях, но не является стойким веществом и не накапливается в окружающей среде из-за быстрого разложения на воду и кислород.

Предельной стадией реакции в системах Фентона является восстановление Fe^{2+} из Fe^{3+}. Скорость восстановления, а следовательно, и скорость образования радикалов может быть существенно увеличена за счет внешнего источника энергии, например света, в так называемом процессе фото-Фентонной деградации. Например, у Fe_2O_3 ширина запрещенной зоны составляет около 2,2 эВ, что обеспечивает фотокаталитическую активность в присутствии УФ-излучения и видимого света с более короткой длиной волны. Фотокатализ особенно привлекателен тем, что позволяет использовать солнечную энергию – возобновляемый и доступный ресурс – с оптимальным соотношением эффективности, стоимости и экологичности [2, 7].

Другим подходом к оптимизации каталитических свойств участков с железом для фотофентонподобной деградации является сочетание Fe с другими металлическими со-катионами в шпинельных ферритах. Эти соединения с формулой MFe_2O_4 могут быть синтезированы с использованием широкого спектра катионов двухвалентных металлов (например, M = Mg, Cu, Zn, Ni) и могут демонстрировать более высокую каталитическую эффективность при деградации органических загрязнителей по сравнению с Fe_2O_3. Это часто связывают с уменьшением ширины запрещённой зоны, изменением поверхностного заряда или активным участием второго металла в каталитическом цикле [7-8].

БУ был получен в процессе пиролиза березовых опилок. Образец БУ был получен в процессе среднетемпературного пиролиза (600 °C).

Синтез $CoFe_2O_4$@C (CF@C) осуществляли методом цитратного горения [9-10].

Фотокаталитические свойства CF@C исследовали в реакции окисления 2,4-динитрофенола (0,15 г/л) пероксидом водорода (75 ммоль/л) под УФ-излучением (λ = 270 нм). Перед облучением образец выдерживали с раствором ДНФ в темноте в течение 60 минут для установления адсорбционного равновесия. Концентрацию красителя измеряли фотоколориметрически при λ = 364 нм. Для поддержания pH=4.4 использовали ацетатный буфер.

Результаты показали, что композит $CoFe_2O_4$/C обладает достаточно высокой сорбционной емкостью (0,00718 моль/г). Это связано с наличием на поверхности углеродной матрицы многочисленных функциональных групп, способных к образованию водородных и π–π-связей с молекулами ДНФ. В то же время фотокаталитическая активность композита оказалась равной 84,12 %.

Суммарная эффективность очистки воды от ДНФ с использованием композита достигла 96,84% благодаря синергетическому сочетанию процессов сорбции и каталитического окисления. Важным практическим преимуществом композита является его способность к магнитной сепарации, обусловленная наличием наночастиц феррита, что значительно упрощает процесс извлечения катализатора после очистки.

Таким образом, композитный материал $CoFe_2O_4$/C демонстрирует высокий потенциал для применения в технологиях очистки водных сред от устойчивых органических загрязнителей, сочетая эффективность, экономичность и удобство практического использования. Помимо вышеперечисленного синтез предлагаемого полифункционального композитного материала решает проблему переработки древесных отходов, из которых на данный момент только половина подвергается вторичной переработке.

Список литературы

1. Bayan A., Fawzi B., Giovanni P., Mahammad A.H. Emerging trends of ferrite-based nanomaterials as photocatalysts for environmental remediation: A review and synthetic perspective // Sustainable Materials and Technologies, 2024. — V. 40. — P. e00961.

2. Layla E.G. Enhancing solar-driven photocatalysis: Synergistic integration of biochar, semiconductors, and magnetic materials for degrading organic pollutants // Desalination and Water Treatment, 2024. — V. 320. — P. 100798.

3. Sana K., Rabia N., Sajid R.A., Muhammad N.C. Facile synthesis and application of manganese-zinc-cobalt hydrous oxides nanoparticles decorated biochar for decontamination of copper (II) from water // Desalination and Water Treatment, 2023. — V. 303. — P. 121-131.

4. Jelena M.J., Artur G., Bruno G., Jasmina A., Tajana S., Jasmina N., Snezana M. Boosting advanced oxidation processes by biochar-based catalysts to mitigate pesticides and their metabolites in water treatment: A meta-analysis // Journal of Environmental Chemical Engineering, 2024. — V. 12. — P. 114260.

5. Yan C., Mingyi L., Wenwen F., Pengfei X. Pine needle biochar loaded with iron-nickel bimetal composite as heterogeneous catalysts to activate peroxymonosulfate for efficient degradation of oxytetracycline // Desalination and Water Treatment, 2023. — V. 282. — P. 220-236.

6. Yongtao X., Mohammadreza K., Babak K., Mario E.V.C., Ian P.T., Wei H., Lise A., Raf D. Activation of peracetic acid by a magnetic biochar-ferrospinel Afe2O4 (A=Cu, Co, or Mn) nanocomposite for the degradation of carbamazepine – A comparative and mechanistic study // Chemical Engineering Journal, 2024. — V. 490. — P. 151932.

7. Jandira L., Elvis C., Ulrich H., Mathias U., Lukas F. NiFe2O4/biochar decorated porous polymer membranes for the flow-through photo-Fenton degradation of tetracycline // Chemical Engineering Journal, 2023. — V. 477. — P. 147203.

8. Li L., Yuanyuan Z., Shuangshuang Y., Shengxiao Z., Qiang X., Pinzhu C., Yaxuan D., Yuxin X. Cobalt-loaded cherry core biochar composite as an effective heterogeneous persulfate catalyst for bisphenol A degradation // RSC Advances, 2022. — V. 12. — P. 7284-7294.

9. Шабельская Н.П., Егорова М.А., Чернышева Г.М., Салиев А.Н., Яценко А.Н., Гайдукова Ю.А. Синтез и свойства композиционного материала $CoFe_2O_4$/C // Вестник ВГУИТ, 2019. — Т. 82. — №4. — С. 184-189.

10. Tomina E.V., Kurkin N.A., Doroshenko A.V. Synthesis of nanoparticlate cobalt ferrite and its catalytic properties for fenton-like processes // Inorganic Materials, 2022. — V. 58. — P. 701-705.

References

1. Bayan A., Fawzi B., Giovanni P., Mahammad A.H. Emerging trends of ferrite-based nanomaterials as photocatalysts for environmental remediation: A review and synthetic perspective // Sustainable Materials and Technologies, 2024. — V. 40. — P. e00961.

2. Layla E.G. Enhancing solar-driven photocatalysis: Synergistic integration of biochar, semiconductors, and magnetic materials for degrading organic pollutants // Desalination and Water Treatment, 2024. — V. 320. — P. 100798.

3. Sana K., Rabia N., Sajid R.A., Muhammad N.C. Facile synthesis and application of manganese-zinc-cobalt hydrous oxides nanoparticles decorated biochar for decontamination of copper (II) from water // Desalination and Water Treatment, 2023. — V. 303. — P. 121-131.

4. Jelena M.J., Artur G., Bruno G., Jasmina A., Tajana S., Jasmina N., Snezana M. Boosting advanced oxidation processes by biochar-based catalysts to mitigate pesticides and their metabolites in water treatment: A meta-analysis // Journal of Environmental Chemical Engineering, 2024. — V. 12. — P. 114260.

5. Yan C., Mingyi L., Wenwen F., Pengfei X. Pine needle biochar loaded with iron-nickel bimetal composite as heterogeneous catalysts to activate peroxymonosulfate for efficient degradation of oxytetracycline // Desalination and Water Treatment, 2023. — V. 282. — P. 220-236.

6. Yongtao X., Mohammadreza K., Babak K., Mario E.V.C., Ian P.T., Wei H., Lise A., Raf D. Activation of peracetic acid by a magnetic biochar-ferrospinel Afe2O4 (A=Cu, Co, or Mn) nanocomposite for the degradation of carbamazepine – A comparative and mechanistic study // Chemical Engineering Journal, 2024. — V. 490. — P. 151932.

7. Jandira L., Elvis C., Ulrich H., Mathias U., Lukas F. NiFe2O4/biochar decorated porous polymer membranes for the flow-through photo-Fenton degradation of tetracycline // Chemical Engineering Journal, 2023. — V. 477. — P. 147203.

8. Li L., Yuanyuan Z., Shuangshuang Y., Shengxiao Z., Qiang X., Pinzhu C., Yaxuan D., Yuxin X. Cobalt-loaded cherry core biochar composite as an effective heterogeneous persulfate catalyst for bisphenol A degradation // RSC Advances, 2022. — V. 12. — P. 7284-7294.

9. Shabelskaya N.P., Egorova M.A., Chernysheva, G.M., Saliev A.N., Yatsenko A.N., Gaidukova Yu.A. Synthesis and properties of the composite material $CoFe_2O_4$/C // Bulletin VGUIT, 2019. — V. 82. — No. 4. — P. 184-189.

10. Tomina E.V., Kurkin N.A., Doroshenko A.V. Synthesis of nanoparticlate cobalt ferrite and its catalytic properties for fenton-like processes // Inorganic Materials, 2022. — V. 58. — P. 701-705.

DOI: 10.58168/Forestry2025_536-540
УДК 674.031.5: 674.047.3: 620.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФАНЕРЫ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО С ДОБАВЛЕНИЕМ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

К.В.Жужукин
к.т.н, старший преподаватель кафедры «Химии и биотехнологии»
А.В.Дорошенко
Ассистент кафедры «Химии и биотехнологии»
С.И. Савченко
преподаватель СПО кафедры «Кафедра промышленного транспорта, строительства и геодезии»
Е.И.Майер
преподаватель кафедры «Кафедра лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации»
А.С.Тарасова
Ассистент кафедры «Химии и биотехнологии»
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Было проведено исследование свойств фанеры на основе карбамидоформальдегидного связующего с добавлением многостепенных углеродных нанотрубок(МУНТ). Ключевой целью было изучение влияния концентрации ф-МУНТ на физико-механические, термические и экологические характеристики полученных материалов. Комплексный анализ с использованием метода ПЭМ, Рамановской и ИК-Фурье спектроскопии подтвердил успешное введении карбоксильных групп на поверхность нанотрубок. Прочностные характеристики (MOR и MOE) фанеры достигли максимума при содержании 1,5% ф-МУНТ, увеличившись на 62,7% и 113% по сравнению с контрольным образцом. Показатели водостойкости улучшались с ростом концентрации наполнителя, показывая наилучший результат при 4% ф-МУНТ. Результаты проведенного исследования демонстрируют высокую эффективность использования функционализированных МУНТ для создания фанеры с улучшенным комплексом свойств.

Ключевые слова: многостенные углеродные нанотрубки, фанера, карбамидоформальдегидная смола, прочность, термостойкость, выделение формальдегида

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF PLYWOOD BASED ON UREA-FORMALDEHYDE BINDER WITH THE ADDED MULTI-WALL CARBON NANOTUBES

K.V. Zhuzhukin
PhD, Senior Lecturer, Department of Chemistry and Biotechnology
A.V. Doroshenko
Assistant, Department of Chemistry and Biotechnology
S.I. Savchenko
Lecturer, Department of Industrial Transport, Construction, and Geodesy
E.I. Mayer
Lecturer, Department of Forest Industry, Metrology, Standardization, and Certification,

© Жужукин К.В., Дорошенко А.В., Савченко С.И., Майер Е.И., Тарасова А.С., 2025

A.S. Tarasova
Assistant Professor, Department of Chemistry and Biotechnology
Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.
A study was conducted on the properties of plywood based on a urea-formaldehyde binder with the addition of multi-stage carbon nanotubes (MWCNTs). The key objective was to investigate the effect of f-MWCNT concentration on the physical, mechanical, thermal, and environmental characteristics of the resulting materials. A comprehensive analysis using TEM, Raman, and FTIR spectroscopy confirmed the successful introduction of carboxyl groups onto the nanotube surface. The strength properties (MOR and MOE) of the plywood reached their maximum at a content of 1.5% f-MWCNTs, increasing by 62.7% and 113%, respectively, compared to the control sample. Water resistance improved with increasing filler concentration, demonstrating the best result at 4% f-MWCNTs. The results of this study demonstrate the high efficiency of using functionalized MWCNTs to create plywood with an improved range of properties.

Keywords: multi-walled carbon nanotubes, plywood, urea-formaldehyde resin, strength, heat resistance, formaldehyde emissions

Древесина представляет собой материал со сложной анизотропной структурой обусловленной особенностями строения её клеточной стенки. Слои клеточной стенки и отдельные ламеллы в древесине различаются ориентацией целлюлозных микрофибрилл. У трахеид и волокон либриформа характер ориентации микрофибрилл примерно одинаков. Структура межклеточного вещества аморфна, целлюлоза в нем отсутствует. В первичной стенке доля целлюлозы невелика и ее микрофибриллы образуют беспорядочную рыхлую сетку с некоторой продольной ориентацией микрофибрилл в наружной части стенки и поперечной на ее внутренней поверхности.

Направленный рост клеточных волокон, ориентация микрофибрилл в клеточных стенках и частей молекул целлюлозы в микрофибриллах приводят к существенной анизотропии механических свойств в продольном, радиальном и тангенциальном направлениях [1]. Особенности структуры древесины определяют различный характер износа узлов и конструкций из натуральной древесины и оказывает существенное влияние на ограничение условий их эксплуатации [2]. Альтернативой натуральной древесине могут выступают древесные плитные материалы, отличающиеся оптимальными физико-механическими показателями и меньшей анизотропией [4, 5, 6], производимые из недорогой древесины быстрорастущих пород [3, 8], а также отходов деревообрабатывающих производств [7, 9] они отличаются экономической привлекательностью и сырьевой доступностью.

Фанера является одним из наиболее распространенных плитных в материалов с ежегодным объемом производства в мире 170 млн. $м^3$, 3 % от которого изготавливается в Российской Федерации [10]. Использование фанеры в качестве конструкционного материала обосновывается наличием возможности структурных изменений в технологии ее изготовления, позволяющих прогнозировать необходимые свойства получаемого материала.

Свойства связующего играют первостепенную роль в качестве клеевого соединения фанеры и, как следствие, во многом определяют физико-механические показатели получаемой продукции. Проведен ряд исследований, направленных на комплексное улучшение связующего вследствие применения к нему модифицирующей добавки [11, 12, 13].

Проведено комплексное исследование свойств карбамидоформальдегидной смолы, модифицированной многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ), функционализированными азотной кислотой, и фанерных композитов на ее основе. Целью работы было изучение влияния концентрации ф-МУНТ на физико-механические, термические и экологические характеристики полученных материалов.

В работе использовались современные методы анализа: просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) подтвердила морфологию нанотрубок с внешним диаметром 10-30 нм и длиной ≥2 мкм; метод Рамановской спектроскопии выявил характерные D и G полосы; ИК-Фурье спектроскопия зафиксировала появление карбонильных групп (1700 $см^{-1}$) и усиление полосы валентных колебаний ОН-групп (3300-3400 $см^{-1}$) после функционализации, что свидетельствует об успешном введении карбоксильных групп на поверхность нанотрубок. Анализ дзета-потенциала подтвердил повышенную стабильность модифицированных композиций.

Установлено наличие межмолекулярного взаимодействия между функциональными группами ф-МУНТ и карбамидоформальдегидной смолы, что подтверждено данными ИК-спектроскопии.

Термогравиметрический анализ показал повышение термической стабильности модифицированных материалов. У образца смолы с ф-МУНТ отсутствовал экзотермический пик при 171 °C, связанный с деструкцией диметиленэфирных мостиков, а начало интенсивной термической деградации фанеры сдвинулось с 214 °C до 244 °C.

Прочностные характеристики фанеры достигли максимума при содержании 1.5% ф-МУНТ: модуль упругости при разрыве (MOR) увеличился на 62.7%, а модуль упругости (MOE) — на 113% по сравнению с контрольным образцом.

Показатели водостойкости устойчиво улучшались с ростом концентрации наполнителя. Наилучший результат показали образцы с 4% ф-МУНТ: водопоглощение снизилось на 22% (через 2 ч) и на 18% (через 24 ч), а набухание по толщине — на 17.2% и 14.5% соответственно.

Выявлена выраженная тенденция к снижению эмиссии свободного формальдегида с увеличением доли нанонаполнителя. Минимальное значение эмиссии — 15.9 мг/л (снижение на 65% относительно контроля) — было зафиксировано для образцов с 4% ф-МУНТ после 21 суток испытаний.

Таким образом, результаты работы демонстрируют высокую эффективность применения функционализированных МУНТ в качестве модифицирующей добавки для карбамидоформальдегидного связующего. Предложенный подход позволяет получить фанеру с принципиально улучшенным комплексом свойств: повышенной прочностью, термостабильностью, водостойкостью и пониженной эмиссией формальдегида, что существенно расширяет потенциал ее применения в экологичном строительстве и производстве мебели.

Список литературы

1. Auriga R, Gumowska A, Szymanowski K, Wronka A, Robles E, Ocipka P, Kowaluk G. Performance properties of plywood composites reinforced with carbon fibers. Compos Struct. 2020;248:112533.

2. Ashori A, Ayrilmis N, Heydari V. Enhancing interfacial adhesion through coupling agent incorporation in plywood/ plastic waste composite materials. Int J Adhes Adhes. 2023;127:103513.

3. Auriga R, Gumowska A, Szymanowski K, Wronka A, Robles E, Ocipka P, Kowaluk G. Performance properties of plywood composites reinforced with carbon fibers. Compos Struct. 2020;248:112533.

4. Castanié B, Peignon A, Marc C, Eyma F, Cantarel A, Serra J, Curti R, Hadiji H, Denaud L, Girardon S, Marcon B. Wood and plywood as eco-materials for sustainable mobility: A review. Compos Struct. 2024;329:117790.

5. Chen S, Cheng C. Determination of gaseous formaldehyde by derivatization using magnetic multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) modified with 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) and high-performance liquid chromatography – ultraviolet detection (HPLC-UV). Instrum Sci Technol. 2022;50(2):174–89.

6. Ding Z, Ding Z, Liu J, Xie Y, Yang F. Derivative thermogravimetric analysis curve for characterizing the curing process of urea-formaldehyde resins. Int J Adhes Adhes. 2022;117:103184.

7. Dong C, Yang Y, Yuan C, Bai X, Guo Z. Effects of anisotropy of lignum vitae wood on its tribological performances. Compos B Eng. 2022;228:109426.

8. Karri R, Lappalainen R, Tomppo L, Yadav R. Bond quality of poplar plywood reinforced with hemp fibers and lignin-phenolic adhesives. Composites Part C: Open Access. 2022b;9:100299.

9. Golubewa LN, Kulahava TA, Leonik YuS, Shuba M V., Semenkova GN. Application of Raman Spectroscopy for Studying the Mechanisms of Neutrophil Activation by Carbon Nanotubes. J Appl Spectrosc. 2021;88(1):77–84.

10. Dorieh A, Selakjani PP, Shahavi MH, Pizzi A, Ghafari Movahed S, Farajollah Pour M, Aghaei R. Recent developments in the performance of micro/nanoparticle-modified urea-formaldehyde resins used as wood-based composite binders: A review. Int J Adhes Adhes. 2022;114:103106.

11. Mirski R, Dukarska D, Derkowski A, Czarnecki R, Dziurka D. By-products of sawmill industry as raw materials for manufacture of chip-sawdust boards. Journal of Building Engineering. 2020;32:101460.

12. Natarelli CVL, Lemos ACC, de Assis MR, Tonoli GHD, Trugilho PF, Marconcini JM, de Oliveira JE. Sulfonated Kraft lignin addition in urea–formaldehyde resin. J Therm Anal Calorim. 2019;137(5):1537–47.

13. Pramreiter M, Nenning T, Huber C, Müller U, Kromoser B, Mayencourt P, Konnerth J. A review of the resource efficiency and mechanical performance of commercial wood-based building materials. Sustainable Materials and Technologies. 2023;38:e00728.

References

1. Auriga R, Gumowska A, Szymanowski K, Wronka A, Robles E, Ocipka P, Kowaluk G. Performance properties of plywood composites reinforced with carbon fibers. Compos Struct. 2020;248:112533.

2. Ashori A, Ayrilmis N, Heydari V. Enhancing interfacial adhesion through coupling agent incorporation in plywood/ plastic waste composite materials. Int J Adhes Adhes. 2023;127:103513.

3. Auriga R, Gumowska A, Szymanowski K, Wronka A, Robles E, Ocipka P, Kowaluk G. Performance properties of plywood composites reinforced with carbon fibers. Compos Struct. 2020;248:112533.

4. Castanié B, Peignon A, Marc C, Eyma F, Cantarel A, Serra J, Curti R, Hadiji H, Denaud L, Girardon S, Marcon B. Wood and plywood as eco-materials for sustainable mobility: A review. Compos Struct. 2024;329:117790.

5. Chen S, Cheng C. Determination of gaseous formaldehyde by derivatization using magnetic multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) modified with 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) and high-performance liquid chromatography – ultraviolet detection (HPLC-UV). Instrum Sci Technol. 2022;50(2):174–89.

6. Ding Z, Ding Z, Liu J, Xie Y, Yang F. Derivative thermogravimetric analysis curve for characterizing the curing process of urea-formaldehyde resins. Int J Adhes Adhes. 2022;117:103184.

7. Dong C, Yang Y, Yuan C, Bai X, Guo Z. Effects of anisotropy of lignum vitae wood on its tribological performances. Compos B Eng. 2022;228:109426.

8. Karri R, Lappalainen R, Tomppo L, Yadav R. Bond quality of poplar plywood reinforced with hemp fibers and lignin-phenolic adhesives. Composites Part C: Open Access. 2022b;9:100299.

9. Golubewa LN, Kulahava TA, Leonik YuS, Shuba M V., Semenkova GN. Application of Raman Spectroscopy for Studying the Mechanisms of Neutrophil Activation by Carbon Nanotubes. J Appl Spectrosc. 2021;88(1):77–84.

10. Dorieh A, Selakjani PP, Shahavi MH, Pizzi A, Ghafari Movahed S, Farajollah Pour M, Aghaei R. Recent developments in the performance of micro/nanoparticle-modified urea-formaldehyde resins used as wood-based composite binders: A review. Int J Adhes Adhes. 2022;114:103106.

11. Mirski R, Dukarska D, Derkowski A, Czarnecki R, Dziurka D. By-products of sawmill industry as raw materials for manufacture of chip-sawdust boards. Journal of Building Engineering. 2020;32:101460.

12. Natarelli CVL, Lemos ACC, de Assis MR, Tonoli GHD, Trugilho PF, Marconcini JM, de Oliveira JE. Sulfonated Kraft lignin addition in urea–formaldehyde resin. J Therm Anal Calorim. 2019;137(5):1537–47.

13. Pramreiter M, Nenning T, Huber C, Müller U, Kromoser B, Mayencourt P, Konnerth J. A review of the resource efficiency and mechanical performance of commercial wood-based building materials. Sustainable Materials and Technologies. 2023;38:e00728.

DOI: 10.58168/Forestry2025_541-546
УДК 656.11

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ В МЕГАПОЛИСАХ

С.В. Еремин[1], **А.Н. Новиков**[2], **А.Г. Шевцова**[3]

[1]д.т.н., депутат Государственной Думы, профессор кафедры сервиса и ремонта машин
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
г. Орел, Россия
[2]д.т.н., директор политехнического института имени Н.Н. Поликарпова.,
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
г. Орел, Россия
[3]д.т.н., директор института дополнительного образования и профессионального обучения,
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
г. Белгород, Россия

Аннотация.
Статья посвящена анализу ключевых направлений развития городской мобильности в мегаполисах, основанных на положениях Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года. Авторы выделяют пять основных векторов трансформации: формирование магистрального транспортного каркаса, смену приоритетов в организации городского пространства в пользу пешеходов и общественного транспорта, внедрение интеллектуальных транспортных систем и цифровых технологий, экологизацию транспорта и повышение безопасности с созданием безбарьерной среды. Особое внимание уделяется необходимости смены поведенческих моделей горожан и переходу от личного автомобиля к более устойчивым и эффективным видам передвижения. Реализация этих направлений, по мнению авторов, позволит не только решить текущие транспортные проблемы, но и заложить основу для устойчивого, комфортного и конкурентоспособного развития крупнейших городов России.

Ключевые слова: городская мобильность, магистральный транспортный каркас, организация городского пространства, повышение безопасности дорожного движения.

URBAN MOBILITY DEVELOPMENT DIRECTIONS IN MEGAPOLITIES

S.V. Eremin[1], A.N. Novikov[2], A.G. Shevtsova[3]

[1]Doctor of Engineering, State Duma Deputy, Professor, Department of Machine Service and Repair
I.S. Turgenev Oryol State University
Oryol, Russia
[2]Doctor of Engineering, Director of the N.N. Polikarpov Polytechnic Institute,
I.S. Turgenev Oryol State University
Oryol, Russia
[3]Doctor of Engineering, Director of the Institute of Continuing Education and Vocational Training,
V.G. Shukhov Belgorod State Technological University
Belgorod, Russia

© Еремин С. В., Новиков А. Н., Шевцова А. Г., 2025

Abstract.
This article analyzes key areas for urban mobility development in megacities, based on the provisions of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030. The authors identify five key transformation vectors: the development of a core transport framework, a shift in urban spatial priorities toward pedestrians and public transport, the implementation of intelligent transport systems and digital technologies, the greening of transport, and improved safety through the creation of a barrier-free environment. Particular attention is paid to the need to change citizens' behavioral patterns and shift from private cars to more sustainable and efficient modes of transportation. The authors believe that implementing these areas will not only solve current transport problems but also lay the foundation for the sustainable, comfortable, and competitive development of Russia's largest cities.

Keywords: urban mobility, main transport framework, urban space organization, improving road safety.

Современный мегаполис – это сложнейший организм, жизнеспособность которого напрямую зависит от эффективности его транспортной системы [1-3]. Городская мобильность, или способность населения свободно и быстро перемещаться по городу, стала одним из ключевых индикаторов качества жизни, экономической конкурентоспособности и устойчивого развития крупнейших агломераций. В условиях стремительной урбанизации, роста населения и концентрации экономической активности в крупных городах, проблема транспортной доступности, пробок, загрязнения воздуха и шума приобретает критическое значение. «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» (далее — Стратегия) уделяет развитию городской мобильности в мегаполисах особое внимание, определяя его как одну из центральных задач национального уровня [4]. Согласно Стратегии, можно определить основные направления развития городской мобильности в мегаполисах, а также механизмы их реализации и ожидаемые результаты (рис. 1).

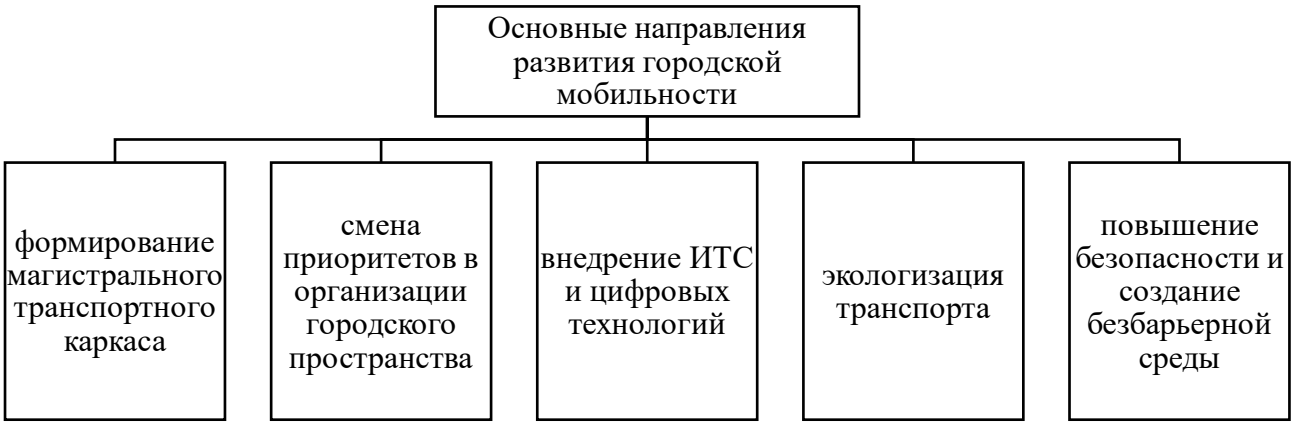


Рисунок 1 – Основные направления развития городской мобильности

1. Формирование магистрального транспортного каркаса как основа устойчивой мобильности. Это из фундаментальных направлений, заключающееся в создании и развитии магистрального транспортного каркаса. Стратегия определяет магистральный каркас как «совокупность видов транспорта общего пользования в рамках городской агломерации с выделенной дорожной или рельсовой инфраструктурой, в том числе метрополитен, трамвай, скоростной автобусный и троллейбусный транспорт, а также связанная с ними сеть пригородного железнодорожного транспорта» [4]. Этот каркас призван стать «хребтом» всей транспортной системы мегаполиса, обеспечивая быстрые,

надежные и массовые перевозки на ключевых направлениях (рис. 2). Его развитие предполагает несколько ключевых аспектов:

- приоритет рельсового транспорта – эти виды транспорта обладают высокой пропускной способностью, не зависят от автомобильных пробок и являются более экологичными. В мегаполисах с населением более 1 млн человек (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Екатеринбург, Казань и др.) планируется завершение начатых проектов по строительству и реконструкции метрополитена. Особое внимание уделяется интеграции пригородного железнодорожного транспорта (например, Московские центральные диаметры (МЦД)) в единую систему городского транспорта. Это позволяет использовать существующую железнодорожную инфраструктуру для решения задач внутригородских перевозок, разгружая центральные районы и связывая отдаленные спальные районы с деловыми центрами;

- развитие выделенных маршрутов для наземного транспорта. Для автобусов и троллейбусов, которые остаются основой транспортной сети во многих городах, Стратегия предусматривает создание выделенных полос и маршрутов скоростного движения. Это особенно актуально на востребованных пассажирами направлениях, где невозможно или экономически нецелесообразно строить рельсовый транспорт. Выделенные полосы позволяют автобусам двигаться быстрее и с большей регулярностью, делая этот вид транспорта более привлекательным для пассажиров;

- реконструкция существующей инфраструктуры, а именно реконструкция существующих линий трамвая на направлениях с высоким пассажиропотоком (более 600 чел. в час пик). Это не просто ремонт, а модернизация: обновление подвижного состава, создание выделенных путей, установка современных остановок. Такой подход позволяет повысить скорость и комфортность поездок, конкурируя с личным автомобилем.

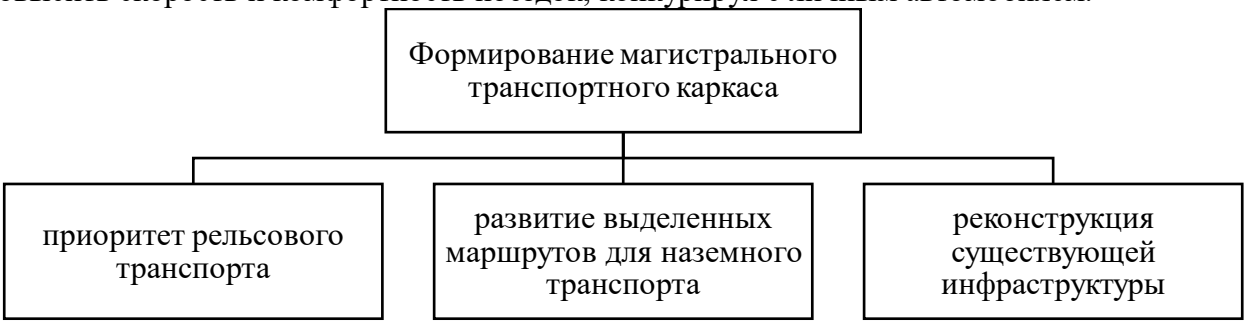


Рисунок 2 – Основные мероприятия по реализации направления «формирование магистрального транспортного каркаса»

Таким образом, формирование магистрального каркаса – это долгосрочная инвестиция, которая закладывает основу для всей последующей транспортной политики. Без эффективного «скелета» любые попытки улучшить мобильность будут носить локальный и временный характер.

2. Смена приоритетов в организации городского пространства. Стратегия прямо декларирует необходимость приоритета движения пешеходов, средств индивидуальной мобильности (СИМ) и транспорта общего пользования (ТОП) над индивидуальным автомобильным транспортом (рис. 3). Основные мероприятия по реализации данного направления заключаются в следующем:

- создание комфортной пешеходной среды – развитие пешеходной инфраструктуры: широкие тротуары, безопасные переходы (в том числе в разных уровнях), устранение барьерных функций магистральной инфраструктуры, которые разделяют кварталы и районы;

- развитие инфраструктуры для СИМ [5-7]. Велосипеды, электросамокаты, гироскутеры – все эти средства становятся неотъемлемой частью городской мобильности, особенно в крупных агломерациях с подходящими климатическими условиями. Стратегия

признает их потенциал и предусматривает развитие велосипедной инфраструктуры: создание велодорожек, велопарковок, интеграция велосипедных маршрутов с общественным транспортом. Это способствует «последней миле» - решению проблемы перемещения от остановки общественного транспорта до конечного пункта назначения.

- оптимизация дорожного движения для ТОП – внедрение систем приоритетного проезда для автобусов и троллейбусов на светофорах, создание выделенных полос.

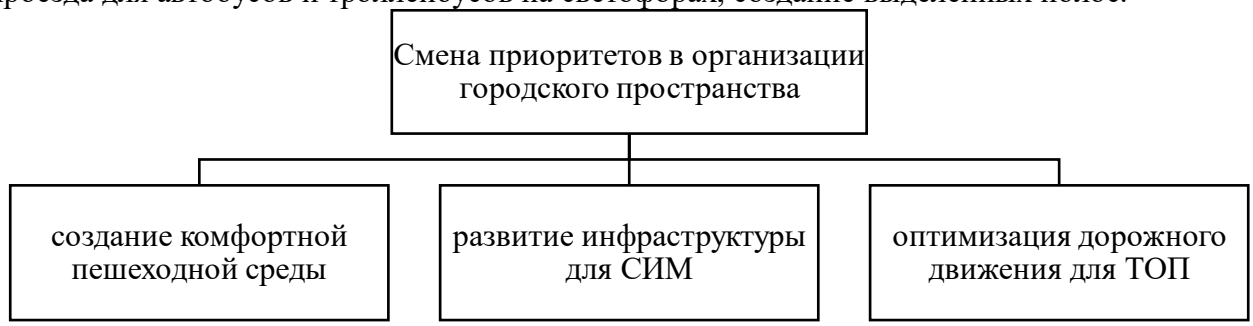


Рисунок 3 – Основные мероприятия по реализации направления «смена приоритетов в организации городского пространства»

В целом, смена парадигмы направлена на то, чтобы изменить поведенческие модели горожан. Вместо того чтобы каждый день садиться за руль, человек должен иметь удобную, быструю и дешевую альтернативу – общественный транспорт, дополненный пешими и велосипедными маршрутами.

3. Внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и цифровых технологий. Стратегия рассматривает цифровую трансформацию как ключевой фактор повышения качества, безопасности и эффективности городской мобильности. Основные мероприятия по реализации данного направления заключаются в следующем:

- внедрение ИТС на улично-дорожной сети и в системе общественного транспорта позволяет оптимизировать потоки, сократить время в пути и повысить безопасность, что включает в себя: адаптивное управление светофорами, которое меняет режим работы в зависимости от интенсивности движения; системы информирования водителей и пассажиров о дорожной обстановке, пробках и альтернативных маршрутах; системы автоматического весогабаритного контроля для защиты дорожного полотна; цифровые двойники транспортной инфраструктуры для моделирования и прогнозирования трафика.
- внедрение цифровых сервисов для пассажиров;
- развитие беспилотного и автономного транспорта.

4. Экологизация транспорта – снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду. Основные виды мероприятий в данном случае заключается в:

- переход на «зеленый» подвижной состав;
- создании «экологических зон»;
- борьба с шумовым загрязнением.

5. Повышение безопасности и создание безбарьерной среды являются фундаментальными принципами развития городской мобильности. Безопасность на транспорте обеспечивается через внедрение современных систем помощи водителю, развитие технологий автоматического торможения и контроля усталости, а также через совершенствование стандартов организации дорожного движения. Принцип «нулевой терпимости» к смертности на дорогах предполагает достижение целевого показателя в 4 погибших на 100 тысяч населения к 2030 году. Одновременно обеспечивается доступность транспортной инфраструктуры для всех категорий граждан, включая маломобильные группы населения. К 2035 году планируется довести долю парка подвижного состава, оборудованного для перевозки маломобильных граждан, до 90%. Это включает не только оснащение транспортных средств, но и создание комфортных и безопасных условий

на транспортно-пересадочных узлах, где пассажиры могут легко и быстро совершать пересадку между различными видами транспорта.

Помимо выделенных основных направлений (рис.1), следует отметить, что интеграция различных видов транспорта и развитие мультимодальных перевозок являются залогом создания единого, бесшовного транспортного пространства. Эффективная городская мобильность невозможна без гладкой стыковки метрополитена, электричек, автобусов, трамваев и велосипедных маршрутов. Для этого создаются современные транспортно-пересадочные узлы (ТПУ), которые становятся не просто точками пересадки, а комфортными пространствами с развитой коммерческой и сервисной инфраструктурой. Развитие перехватывающих парковок на подступах к магистральному транспортному каркасу стимулирует жителей пригородов оставлять личные автомобили и пересаживаться на общественный транспорт для поездок в центр города.

Реализация этих направлений позволит не только решить текущие транспортные проблемы мегаполисов, но и заложить основу для их устойчивого развития на десятилетия вперед, сделав города более комфортными, конкурентоспособными и привлекательными для жизни.

Список литературы

1. Новиков, А. Н. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города / А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – Белгород-Орел : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 239 с. – ISBN 978-5-361-01180-3.

2. Еремин, С. В. Механизмы повышения качества функционирования городского транспорта общего пользования / С. В. Еремин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2024. – № 6(115). – С. 3-5.

3. Повышение эффективности функционирования транспортно-логистического комплекса страны / С. Н. Глаголев, С. В. Еремин, А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-2(86). – С. 132-138. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-132-138.

4. О транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27.11.2021 № 3363-р // Собрание законодательства Российской Федерации от 2021 г. - № 50 (ч. IV). Ст. 8613.

5. Юнг, А. А. Моделирование процесса движения средств индивидуальной мобильности в городской среде / А. А. Юнг, А. Г. Шевцова // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2022. – № 1(31).

6. Юнг, А. А. Анализ рынка распространенных моделей средств индивидуальной мобильности / А. А. Юнг, А. Г. Шевцова, Е. А. Новописный // Организация и безопасность дорожного движения : материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 13 мая 2021 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. – С. 84-88.

7. Юнг, А. А. Оценка влияния сим на показатели транспортного потока при совместном движении / А. А. Юнг, А. Г. Шевцова, В. В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1-2(80). – С. 43-49. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-43-49.

References

1. Novikov, A. N. Ways to improve the safety of public transport in the context of long-term urban development / A. N. Novikov, S. V. Eremin, A. G. Shevtsova. - Belgorod-Orel: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2023. - 239 p. - ISBN 978-5-361-01180-3.

2. Eremin, S. V. Mechanisms for improving the quality of functioning of urban public transport / S. V. Eremin // Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, Economics. - 2024. - No. 6 (115). - P. 3-5.

3. Improving the efficiency of functioning of the transport and logistics complex of the country / S. N. Glagolev, S. V. Eremin, A. N. Novikov, A. G. Shevtsova // The world of transport and technological machines. – 2024. – No. 3-2(86). – P. 132-138. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-132-138.

4. On the transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035: Order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-r // Collected Legislation of the Russian Federation dated 2021. - No. 50 (Part IV). Art. 8613.

5. Jung, A. A. Modeling the process of movement of individual mobility vehicles in the urban environment / A. A. Jung, A. G. Shevtsova // Automobile. Road. Infrastructure. – 2022. – No. 1(31).

6. Jung, A. A. Analysis of the market of common models of personal mobility vehicles / A. A. Jung, A. G. Shevtsova, E. A. Novopisny // Organization and safety of road traffic: Proceedings of the XIV National Scientific and Practical Conference with International Participation, Tyumen, May 13, 2021. - Tyumen: Tyumen Industrial University, 2021. - Pp. 84-88.

7. Jung, A. A. Assessment of the impact of SIM on traffic flow indicators during joint movement / A. A. Jung, A. G. Shevtsova, V. V. Vasilyeva // The world of transport and technological machines. - 2023. - No. 1-2 (80). - Pp. 43-49. - DOI 10.33979/2073-7432-2023-2 (80) -1-43-49.

DOI: 10.58168/Forestry2025_547-554
УДК 674

ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ МЕБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ РФ

Т.В. Ефимова
к.т.н., доцент кафедры механической технологии древесины,
Т.Л. Ищенко
к.т.н., декан лесопромышленного факультета,
Д.С. Грачев
студент группы ТЛК4-241-ОМ,
Р.В. Ефимов
студент группы ТЛК4-251-ЗМ,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Статья рассматривает, как технологические и организационные изменения, поддержанные госпрограммами и «зелёной» повесткой, трансформируют мебельную отрасль РФ. Показано, что цифровизация, автоматизация, развитие онлайн-сбыта и импортозамещение повышают производительность, а переход к био-связующим и низкоэмиссионным ЛКМ снижает экологические риски и укрепляет конкурентоспособность. Выделены ключевые барьеры 2024–2025 гг. (санкции, логистика, сырьё, кадры, спрос) и инвестиционные ниши: локализация фурнитуры, «умная» мебель, переработка, B2B-сегменты, экспорт в Азию и Ближний Восток. Сделан вывод о высокой инвестиционной ёмкости отрасли при условии продолжения техперевооружения и ESG-ориентации.

Ключевые слова: цифровизация; ЧПУ; маркетплейсы; импортозамещение; био-клеи; низкая эмиссия; переработка; «умная» мебель; господдержка; экспорт.

OPPORTUNITIES FOR THE DEVELOPMENT OF THE FURNITURE INDUSTRY IN THE CONTEMPORARY REALITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION

T.V. Efimova
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Wood Technology
T.L. Ishchenko
Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Forestry,
D.S. Grachev
student of the group TLK4-241-OM,
R.V. Efimov
student of the TLK4-251-ZM group

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

© Ефимова Т. В., Ищенко Т. Л., Грачев Д. С., Ефимов Р. В., 2025

Abstract.

The paper condenses the current transformation of Russia's furniture industry driven by digitalization, automation, e-commerce growth, import substitution, and sustainable materials. State support instruments and protectionism mitigate external shocks, while bio-adhesives and low-emission coatings improve compliance and market positioning. The text outlines 2024–2025 constraints and highlights investment tracks such as localized fittings production, smart furniture, recycling, institutional segments, and pivoted exports to Asia/MENA. The sector remains investable given ongoing modernization and ESG adoption.

Keywords: digitalization; CNC; marketplaces; import substitution; bio-adhesives; low emissions; recycling; smart furniture; government support; export.

Мебельная промышленность России переживает период бурных перемен и адаптации к новым экономическим условиям. Санкционные ограничения, уход ряда зарубежных компаний (например, IKEA и других европейских брендов), разрыв привычных логистических цепочек – все это создало для отрасли как серьезные вызовы, так и новые возможности. Внутренний рынок претерпел структурные изменения: доля импортной мебели резко сократилась, а отечественные производители наращивают выпуск продукции рекордными темпами. Государство активизировало меры поддержки, стимулируя импортозамещение и технологическое развитие предприятий. Одновременно усилилось внимание к экологической и социальной ответственности бизнеса, что открывает перспективы для устойчивого развития отрасли.

В данной статье рассматривается влияние технологических инноваций на производство и сбыт, обобщаются действующие меры государственной поддержки, оцениваются перспективы «зеленого» производства, а также обсуждаются ключевые вызовы (санкции, логистика, кадры и др.) и возможности для инвестиций и наращивания экспорта российской мебели.

1. Технологические инновации и сбыт

Инновационное применение древесно-полимерных композитов в 3D-печати способствует не только развитию новых продуктов и решений в архитектуре и дизайне, но и стимулирует переход к более устойчивым производственным практикам. Это демонстрирует, как технологические инновации могут работать рука об руку с экологическими инициативами, создавая новую парадигму в проектировании и строительстве, которая способствует сохранению окружающей среды и улучшению качества жизни [1, 2]. Внедрение цифровых решений и автоматизации стало ответом отрасли на вызовы последних лет, позволив компенсировать рост издержек и дефицит некоторых ресурсов.

Один из заметных трендов – цифровизация проектирования и производства мебели. Крупнейшие фабрики и множество средних предприятий внедряют интегрированные CAD/CAM-системы для дизайна и подготовки производства. Например, отечественный программный комплекс «БАЗИС» широко используется мебельными компаниями для автоматизации полного цикла: прием заказа, 3D-проектирование изделия, раскрой материалов, генерация программ для станков с ЧПУ и даже управление складом и отгрузкой. Благодаря таким системам дизайнеры и конструкторы могут с высокой точностью моделировать мебель, а производство – быстро перенастраивать линии под новые модели. Это значительно сокращает время от эскиза до готового продукта и минимизирует человеческий фактор.

Инновации затрагивают не только цеха, но и сферу логистики и маркетинга в мебельном бизнесе. Рост онлайн-торговли мебелью стал одним из заметных явлений последних лет. Уход IKEA и пандемия подстегнули и производителей, и покупателей активнее осваивать цифровые каналы продаж. В результате крупные маркетплейсы фиксируют взрывной рост продаж мебели: так, Wildberries сообщал о росте на 152% за год,

а Яндекс.Маркет – на 358%. Фактически маркетплейсы быстро заняли нишу, образовавшуюся после закрытия розничных магазинов IKEA, и продолжают ее расширять. Около 60% российских производителей мебели среднего и высокого сегмента за последние два года разработали отдельные более бюджетные продуктовые линейки специально для продаж через онлайн-каналы. Выпуск готовой мебели стандартных моделей под собственными брендами для маркетплейсов позволяет фабрикам охватить аудиторию в регионах, где нет фирменных салонов. Параллельно мебельщики инвестируют в цифровой маркетинг: усиливают присутствие в соцсетях, работают с дизайнерскими блогерами (по опросам, треть покупателей выбирают мебель по советам интерьер-блогеров), собирают отзывы на специализированных сайтах. Развиваются технологии AR/VR для маркетинга: уже доступны мобильные приложения с дополненной реальностью, позволяющие покупателю «примерить» мебель у себя дома, проецируя 3D-модель предмета в интерьере через камеру смартфона. Это снижает неопределенность при онлайн-покупке и повышает конверсию. Виртуальные шоу-румы на базе VR также начали использоваться некоторыми компаниями, давая возможность осмотреть образцы мебели «дистанционно» в реалистичном окружении.

Несмотря на санкции, российские предприятия не прекращают доступ к новым технологиям благодаря импортозамещению оборудования и сотрудничеству с Азией. На рынке появились отечественные производители мебельных станков, программного обеспечения, оснастки. К примеру, в 2023 г. кировская компания «СтанкоЛес» представила линейку промышленных шредеров и измельчителей древесных отходов, полностью разработанных и произведенных в России. Отечественные поставщики оборудования активно заменяют европейских, и мебельные фабрики инвестируют в обновление парка станков, пользуясь господдержкой (льготные займы, субсидии – см. следующий раздел).

Кроме производства, инновации проникают и в сами мебельные продукты. Растет интерес к «умной мебели» – изделиям с интеграцией электроники и IoT-технологий. Уже появляются образцы диванов и кресел с настройкой жесткости и подогрева через смартфон, столов с автоматической регулировкой высоты и памятью положений и т.п.. Пока это единичные премиальные решения, но тренд на умный дом предсказывает рост этого сегмента. Другой тренд – использование новых материалов. Например, технологии 3D-печати все активнее входят в мебельный дизайн, позволяя создавать сложные фигуры и соединения, недостижимые традиционным способом. Уже имеются примеры изготовления элементов декора и фурнитуры методом 3D-печати, что открывает путь к большей индивидуализации дизайна. Технология пока ограничена по масштабам и материалам, но развивается.

2. Господдержка и регуляторная среда

Государство в современных условиях оказывает существенную поддержку мебельной промышленности, стремясь компенсировать внешние ограничения и стимулировать импортозамещение. Меры господдержки носят комплексный характер – от прямых субсидий и льготного финансирования до протекционистских мер и организационной помощи. Ниже рассмотрены ключевые программы и инициативы, актуальные на 2024–2025 гг.:

- Льготные кредиты и промышленная ипотека. Одним из наиболее востребованных инструментов стало льготное кредитование через Федеральный и региональные фонды развития промышленности (ФРП). Предприятия отрасли могут получать займы под низкие проценты на проекты модернизации, локализации производства комплектующих, внедрения новых технологий. С 2022 года действует программа так называемой *«промышленной ипотеки»,* позволяющей фабрикам брать целевые кредиты по ставке ~5% годовых для приобретения или строительства производственных помещений. Сумма займа – до 500 млн руб., срок – до 7 лет (в планах продление до 15 лет). Уже на конец 2023 г. ряд мебельных компаний воспользовались этой мерой, расширяя свои цеха за счет дешевого финансирования. Льготные займы также доступны на пополнение оборотных средств

(например, создание запасов материалов вне сезона) и на проведение НИОКР по разработке новой продукции. Общий объем господдержки лесопромышленного комплекса (включая мебельную отрасль) через субсидии и льготные кредиты в последние годы измеряется миллиардами рублей ежегодно (для справки: в 2017 г. было 5,2 млрд руб. федеральной поддержки ЛПК, в 2023 г. – значительно больше с учетом новых программ).

- Импортозамещение и протекционизм. Для защиты внутреннего рынка правительство РФ ввело ограничения на допуск импортной мебели в государственные и муниципальные закупки. Постановлением №1072 с 2017 года была установлена запретительная мера на закупку зарубежной мебели для государственных нужд. Эта норма продлевалась и дополнялась: в текущих условиях фактически весь госзаказ ориентирован на отечественную продукцию, что обеспечивает стабильный спрос для местных производителей. Кроме того, отраслевые объединения (АМДПР) активно лоббируют введение заградительных пошлин на коммерческий импорт мебели из стран, не являющихся партнерами ЕАЭС. В 2023 г. АМДПР обращалась в Минэкономразвития с предложением повысить ввозные пошлины на мебель, особенно из Турции и Китая, чтобы выровнять условия конкуренции. Пока решение не принято, но дискуссия продолжается на высоком уровне. В то же время принято постановление о запрете импорта определенных видов древесных плит из «недружественных» стран, чтобы поддержать отечественных производителей ДСП/МДФ. Правительство также стимулирует локализацию производства компонентов – например, инициировано создание новых предприятий по выпуску мебельной фурнитуры и материалов. По словам главы Минпромторга А. Алиханова, в России уже появляются новые заводы в нише фурнитуры, ранее полностью импортируемой. Это поддерживается как субсидиями, так и доступом к льготным кредитам через ФРП. Таким образом, курс на импортозамещение в мебельной отрасли проявляется и через финансовое поощрение локального производства, и через ограничение доступа импортных товаров к ключевым сегментам рынка.

- Прямые субсидии и гранты. Существуют программы субсидирования части затрат предприятий. В их числе – компенсация процентов по коммерческим кредитам, субсидии на транспортировку продукции при экспорте, гранты на участие в выставках и продвижение за рубежом. Так, до 2022 года действовала программа субсидирования транспортных расходов экспортерам мебели (в рамках поддержки несырьевого экспорта), однако объем ее финансирования сократился с ~20 млрд руб. в 2023 г. до ~17 млрд руб. в 2024 г., и представители ЛПК указывают на необходимость продлить и увеличить такие субсидии. Также обсуждается возмещение части затрат на сертификацию продукции по экологическим и международным стандартам, что особенно актуально для экспортоориентированных производителей. В рамках госпрограммы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» мебельные компании могут получать субсидии на техническое перевооружение и инновационные проекты. В некоторых регионах (например, в Республике Дагестан) действуют собственные фонды развития промышленности, предоставляющие льготные займы и субсидии малым и средним предприятиям под проекты в мебельной сфере. Эти меры снижают финансовую нагрузку на бизнес и позволяют активнее инвестировать в рост.

- Инфраструктурная поддержка и региональные инициативы. На уровне субъектов Федерации создаются условия для развития мебельного производства посредством особых экономических зон и индустриальных парков. Например, региональные власти предлагают мебельным предприятиям получить статус резидента индустриального парка, что дает льготы по аренде помещений, налоговым ставкам и подключению к инфраструктуре. Такие площадки есть в ряде регионов (Татарстан, Калужская обл., Краснодарский кр. и др.), они привлекают инвесторов в деревообработку и мебельное дело. Кроме того, государство поддерживает участие российских компаний в крупных международных и отечественных выставках (через Российский экспортный центр и Минпромторг) – например, ежегодная московская выставка «Мебель» стала площадкой для заключения соглашений о

расширении производств в регионах. Реализуются и адресные проекты: в 2023 г. при поддержке региональных властей в Чувашии запускается комплекс по глубокой переработке древесины (включая мебельные компоненты), в Краснодарском крае на ПМЭФ подписано соглашение о расширении крупной мебельной фабрики. Подобные инициативы создают рабочие места и увеличивают производство на местах. Наконец, важна организационная поддержка: профильный Департамент мебельной промышленности Минпромторга РФ постоянно взаимодействует с бизнес-сообществом (через АМДПР) для выработки новых мер поддержки. Последние 2–3 года отмечается активная «обеление» рынка – совместные усилия государства и бизнеса по выводу производителей из тени, введению обязательной маркировки продукции и правил честной конкуренции. Это тоже своего рода мера поддержки добросовестных компаний, которым становится легче работать в прозрачных условиях.

Таким образом, сочетание финансовых и регуляторных инструментов формирует благоприятные условия для развития отрасли. Государственные программы позволяют предприятиям модернизироваться и наращивать мощности, не опасаясь дефицита финансирования, а протекционистские меры дают передышку от избыточного импортного давления. Важно, что поддержка носит долгосрочный характер: рассчитана стратегически до 2030 года и дальше, что вселяет уверенность инвесторам. В следующих разделах мы рассмотрим, как госполитика стимулирует переход к устойчивому «зеленому» производству и какие барьеры еще предстоит снять на пути развития отрасли.

3. Устойчивое производство

В настоящее время в Российской Федерации лесопромышленный комплекс, включающий в себя систему отраслей, таких как лесозаготовительная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, играет огромную роль в экономике страны. В заготовительном и перерабатывающем производстве древесины задействовано около 40 тысяч крупных, средних и мелких предприятий, расположенных во всех субъектах РФ. В 45 субъектах Российской Федерации производство лесобумажной продукции составляет от 10 до 50 % от всех объемов выпускаемой промышленной продукции этих регионов. На предприятиях и в организациях лесопромышленного комплекса трудоустроено более 1 миллиона человек.

На практике устойчивое производство в мебельной отрасли развивается по нескольким направлениям:

Во-первых, переработка и утилизация материалов. Традиционно деревообрабатывающие и мебельные предприятия сталкивались с проблемой отходов (обрезки древесины, стружка, бракованные детали, старая мебель). Раньше большую часть отходов просто сжигали для получения тепла или отправляли на свалку, что вело к выбросам и потере ценного сырья. Теперь ситуация начинает меняться. Крупные компании инвестируют в линии рециклинга – измельчения и очистки древесных отходов с получением вторичного сырья для плит (рециклат).

Во-вторых, экологичность материалов и безопасность продукции. Мебель – это то, с чем люди взаимодействуют ежедневно, поэтому все больше внимания уделяется тому, чтобы материалы были безопасны для здоровья и экологически чисты.

В-третьих, энергоэффективность и углеродный след. Мебельные предприятия постепенно внедряют меры по энергосбережению: модернизируют котельные, устанавливают более эффективные сушки древесины, возвращают тепло от технологических процессов.

В-четвертых, социальная ответственность. Устойчивое развитие включает и социальный аспект – заботу о работниках и обществе. Крупные мебельные компании внедряют программы обучения персонала, повышают культуру производства (например, концепции «бережливого производства» внедряются вместе с принципами циклической экономики на тренингах для сотрудников). Создаются более безопасные условия труда в цехах за счет автоматизации наиболее травмоопасных операций, установки систем

вентиляции (чтобы рабочие не дышали древесной пылью и клеевыми испарениями). Некоторые предприятия участвуют в социальных проектах – например, передают мебель в детские дома, оснащают школьные классы партами и стульями, изготовленными из экологичных материалов. Отраслевые союзы совместно с властями инициируют программы утилизации старой мебели населением: стимулируют сдавать старую мебель на переработку, проводя акции «сдай старый диван – получи скидку на новый». Все это повышает общественную репутацию мебельных производителей и делает их бизнес более устойчивым в долгосрочной перспективе.

4. Ключевые вызовы 2024-2025

Несмотря на позитивные сдвиги, мебельная промышленность РФ сталкивается с серьезными вызовами, которые могут затормозить развитие, если не найти адекватных решений. Вот основные ограничения и проблемы, актуальные на 2024–2025 годы:

- Санкции и внешняя торговля. Экспорт в Европу просел; переориентация на дружественные рынки идёт, но с барьерами и асимметричными пошлинами. Валютная волатильность удорожает импортные компоненты.

- Логистика и сырьё. Длинные маршруты, рост ставок и перегруженность коридоров повышают себестоимость. Парадоксальные дефициты некоторых плит и фанеры при общем ресурсе древесины связаны с концентрацией производства и экспортной мотивацией смежных отраслей. Нужна балансировка интересов в ЛПК.

- Кадры. Нехватка станочников, сборщиков, обивщиков, технологов и CAD/CAM-инженеров; мобилизационные и миграционные факторы усугубили разрыв. Решения - расширение СПО, дуальное обучение, рост производительности труда.

- Спрос и конкуренция. Реальные доходы и дорогая ипотека смещают спрос в бюджетный сегмент; насыщение рынка требует тонкой ассортиментной политики и сервиса. Конкурируют отечественные игроки, азиатский импорт и ещё сохраняющийся «серый» сегмент. Продолжается «обеление» через маркировку.

5. Инвестиционные возможности

Несмотря на сложности, в современных реалиях у российской мебельной индустрии открываются значимые возможности для роста, которыми могут воспользоваться как действующие игроки, так и новые инвесторы. Ниже обозначены ключевые зоны роста и направления, привлекательные с точки зрения инвестиций и экспансии.

- Заполнение освободившихся ниш внутреннего рынка. Уход крупных иностранных сетей (в первую очередь IKEA) оставил вакуум, особенно в сегменте качественной, но доступной мебели современного дизайна [3]. По опросам, ~60% российских потребителей в 2023 г. скучали по IKEA, хотя 79% отметили появление замен от российских брендов (Hoff, «Шатура», «Аскона», «Много Мебели» и др.). Это указывает на огромный спрос в нише мебели скандинавского стиля – функциональной, минималистичной и недорогой. Уже сейчас отечественные фабрики расширяют ассортимент в этом направлении, некоторые даже полностью переориентировали производство на выпуск аналогов популярных шведских товаров. Кроме того, региональные рынки внутри РФ тоже таят возможности: в отдаленных регионах (Дальний Восток, Сибирь, Северный Кавказ) пока слабо представлена мебель местного производства, основная масса товара туда ввозится. Открытие современных производств ближе к потребителю (с учетом доступности лесного сырья в тех же регионах) может быть весьма выгодным – ниже транспортные издержки, поддержка местных властей (налоговые льготы) и готовый спрос.

- Развитие экспорта на новые направления. Хотя европейский рынок закрыт, у российской мебели появляются шансы на других мировых площадках. В первую очередь – страны Азии, особенно Китай, Индия, страны Юго-Восточной Азии.

- Инвестиции в производство комплектующих и материалов. Как отмечалось, слабое место отечественной мебельной отрасли – зависимость от импорта комплектующих (механизмы, фурнитура, ткани). Здесь для инвесторов настоящий *«блакитный океан»*: рынок фурнитуры в России оценивается в десятки миллиардов рублей, и до недавнего

времени он был на 80–90% импортным. Сейчас государство и спрос вынуждают локализовывать эти производства. Уже открылись новые производства петель, направляющих, мебельных стяжек и т.д. [4, 5].

- Государственные стимулы и партнерство. Возможности для инвестиций подкрепляются тем, что государство фактически софинансирует развитие отрасли. Это снижает риски для инвесторов. Такая модель ГЧП (государственно-частного партнерства) работает, например, в особых экономических зонах, где резиденты мебельного профиля освобождаются от уплаты ряда налогов на несколько лет. В итоге совокупность мер поддержки делает отрасль привлекательной для долгосрочных вложений.

- Повышение производительности и консолидация. Инвестиционные возможности кроются не только в расширении, но и во внутренней оптимизации бизнеса. Российский мебельный рынок пока достаточно фрагментирован – доля даже крупнейших компаний не столь велика. В перспективе может произойти консолидация, слияния и поглощения, образование крупных холдингов по аналогии с зарубежными корпорациями.

Заключение

Российская мебельная промышленность в современных реалиях проходит через этап глубокой трансформации, выходя из него окрепшей и более самостоятельной. Анализ показал, что отрасль сумела адаптироваться к внешним шокам: резко нарастив внутреннее производство, освоив освободившиеся ниши и внедрив новейшие технологии, мебельные фабрики России установили в 2023 году исторические рекорды по выпуску продукции. Государственная поддержка сыграла важную роль, обеспечив финансовую подпитку и защиту рынка в критический момент. Однако впереди немало работы – от решения проблем с сырьем и кадрами до покорения новых экспортных рынков. Инновации и цифровизация станут ключевым фактором дальнейшего развития: те компании, которые продолжат автоматизировать производство, развивать онлайн-продажи и создавать продукты под запросы современной аудитории, будут лидировать. Параллельно успех в долгосрочной перспективе невозможен без перехода к устойчивому производству – экологичность и социальная ответственность постепенно становятся неотъемлемыми атрибутами конкурентоспособного бизнеса.

Для инвесторов российский мебельный сектор предлагает привлекательную комбинацию — растущий внутренний рынок, поддерживаемый государством, и относительно низкую глобальную конкуренцию в новых сегментах после ухода западных брендов. Множество направлений – от производства фурнитуры до экспорта мебели в Азию – находятся на подъеме и готовы к притоку капитала. При благоприятном стечении обстоятельств (смягчении геополитической напряженности, стабилизации экономики) российская мебельная индустрия способна совершить качественный скачок, превратив временные трудности в стимул для обновления.

В современных реалиях РФ мебельная отрасль вновь доказала свою гибкость и потенциал. Специалисты и инвесторы, внимательно следящие за рынком, отмечают, что у российских производителей есть все необходимое, чтобы обеспечить страну качественной мебелью и в перспективе занять достойное место на мировом рынке мебели. Необходимо продолжать курс на инновации, партнерство с государством и ответственное ведение бизнеса – и тогда возможности развития, очерченные в этой статье, станут новой реальностью отрасли в ближайшие годы.

Список литературы

1. Управление конкурентоспособностью промышленных предприятий региона на основе инновационно-маркетинговых технологий : монография / М.А. Меньшикова, М.Я. Веселовский, И.В. Христофорова; ред.: М.А. Меньшикова [и др.].- Москва : Научный консультант, 2016 - 230 с. - ISBN 978-5-9908220-2-3. - URL: https://rucont.ru/efd/501470 (дата обращения: 20.09.2025)

2. В России увеличили выпуск мебели на 17% за 2024 год. - URL: https://forestcomplex.ru/manufacturing/v-rossii-uvelichili-vipusk-mebeli/. - Загл. с экрана.

3. Скандинавский стиль: кто заменит в России IKEA. - URL: https://www.rbc.ru/industries/news/65ddd3cc9a794727aa83bf21. - Загл. с экрана.

4. Иностранные производители нарастили импорт мебели в Россию. - URL: https://stroygaz.ru/news/biznes/inostrannye-proizvoditeli-narastili-import-mebeli-v-rossiyu/. - Загл. с экрана.

5. Новости мебельного экспорта: курс на Китай, Монголию и Африку. - URL: https://industrymebel.ru/inform/novostee-myebyelnogo-eksporta/.- Загл. с экрана.

References

1. Managing the competitiveness of industrial enterprises in the region based on innovative marketing technologies : monograph / M.A. Menshikova, M.Ya. Veselovsky, I.V. Khristoforova; ed.: M.A. Menshikova [et al.]. - Moscow: Scientific consultant, 2016 - 230 p. - ISBN 978-5-9908220-2-3. - URL: https://rucont.ru/efd/501470 (date of access: 09/20/2025)

2. In Russia, furniture production increased by 17% in 2024. - URL: https://forestcomplex.ru/manufacturing/v-rossii-uvelichili-vipusk-mebeli/. - Title from the screen.

3. Scandinavian style: who will replace IKEA in Russia. - URL: https://www.rbc.ru/industries/news/65ddd3cc9a794727aa83bf21. - Title from the screen.

4. Foreign manufacturers have increased furniture imports to Russia. - URL: https://stroygaz.ru/news/biznes/inostrannye-proizvoditeli-narastili-import-mebeli-v-rossiyu/. - Title from the screen.

5. Furniture export news: heading for China, Mongolia and Africa. - URL: https://industrymebel.ru/inform/novostee-myebyelnogo-eksporta/. - Title from the screen.

DOI: 10.58168/Forestry2025_555-562
УДК 630 81

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ И УЧЁТА КОРЫ НА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛАХ

Е.А. Галкина
Старший преподаватель кафедры техносферной безопасности,
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

О.А. Куницкая
д.т.н., профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса»,
Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

Аннотация.
Современное лесное хозяйство стремительно интегрирует цифровые технологии, что отражается, в том числе, в появлении и развитии новых информационных систем, и естественным образом накладывает свой отпечаток и на сферу учёта лесных ресурсов. Новые технологии, шагая в ногу с растущими требованиями лесного руководства, создают благоприятную почву как для повышения точности цифрового учёта в лесной отрасли в целом, так и обусловливают актуальность повышения точности учёта коры круглых лесоматериалов.

Ключевые слова: учет древесины, круглые лесоматериалы, групповой учет, древесная кора, распознавание торцов, рентгеновские сканеры круглых лесоматериалов.

THE PRACTICAL SIGNIFICANCE OF BARK MEASUREMENTS AND ACCOUNTING ON ROUNDWOOD

E.A. Galkina
Senior Lecturer at the Department of Technosphere Safety,
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

O.A. Kunitskaya
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Equipment of the Forest Complex,
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Abstract. Modern forestry is rapidly integrating digital technologies, which is reflected, among other things, in the emergence and development of new information systems, and naturally leaves its mark on the field of forest resource accounting. New technologies, keeping pace with the growing requirements of forest management, create favorable conditions both for improving the accuracy of digital accounting in the forest industry as a whole, and determine the urgency of improving the accuracy of accounting for roundwood bark.

© Галкина Е. А., Куницкая О. А., 2025

Keywords: wood accounting, roundwood, group accounting, tree bark, end face recognition, roundwood X-ray scanners.

Повышение точности учёта коры на круглых лесоматериалах становится неотъемлемым приоритетом как для теории, так и для практики лесной отрасли. Перспективы развития охватывают не только совершенствование понятийного аппарата и терминологии, но и внедрение новых инструментов измерения, автоматизацию процессов, системную интеграцию данных и обеспечение единства измерений на всех стадиях движения древесины – от лесосеки до глубокой переработки [16]. Знание закономерностей распределения и свойств коры имеет большое значение для промышленной переработки древесины. Окорка сортиментов - начальный этап во многих технологических процессах. Обязательной окорке подвергаются балансы, рудничная стойка, столбы для линий связи и электропередачи. Часто окаривают шпальные и пиловочные бревна перед распиловкой, используя роторные или фрезерные окорочные станки [2, 4, 12]. Количество коры, получаемой при окорке, зависит от породы, диаметра и длины сортимента, а также от технологии окорки [5].

Объём коры и её параметры существенно влияют на технологические процессы и экономическую эффективность использования лесоматериалов. Вариативность доли коры определяется породой, возрастом, диаметром ствола и условиями произрастания. С возрастом относительный объём коры снижается за счёт опережающего прироста древесины, а при ухудшении условий произрастания доля коры возрастает, что может служить индикатором состояния насаждений [7, 11].

Плотность коры варьируется по породам и структурным элементам. Для луба и корки ели, полученной со сплавной древесины, плотность составляет 0,93 и 0,64 г/см³ соответственно. У сосновой коры при влажности 15%-0,548 г/см³. Плотность коры сосны уменьшается с увеличением диаметра бревна, а у ели практически не зависит от диаметра [6].

При учёте круглых лесоматериалов кора может учитываться либо включённой в объём, либо исключённой из него. В соответствии с ГОСТ 32594-2013, измерение диаметра и объёма круглых лесоматериалов проводится как с учётом коры, так и без неё, в зависимости от назначения и требований учёта. Учёт по требованиям Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК)] производится без коры для всех лесоматериалов, как деловых, так и дровяных. Своеобразной дуалистической особенностью учёта коры на практике является обстоятельство, что кора учитывается в составе общего объёма или общей массы дерева/бревна до тех пор, пока она физически не отделена от древесины, т.е. ведётся совместный учёт, где присутствуют две цифры: количество древесины в коре и количество древесины без учёта коры [1]. Таким образом, на практике учёт количества коры, как самостоятельная величина, не производится. Только после окорки учёт коры производится отдельно. В связи с тем, что во ФГИС ЛК и некоторые другие учётные системы древесины оперируют величинами без учёта коры, назревает необходимость отдельного учёта коры в составе лесоматериалов.

Рациональное использование коро-древесного сырья, учёт особенностей коры при моделировании раскроя и оптимизации технологических процессов способствует повышению выхода товарной продукции, снижению отходов и увеличению экономической эффективности лесопереработки [2, 12].

Наиболее характерным примером продвинутых инструментов, предназначенных для повседневного практического использования в лесной индустрии, сочетающее в себе и элементы дистанционного зондирования, и наиболее передовые технологии обработки полученной информации с использованием искусственного интеллекта (ИИ), являются рентгеновские сканеры круглых лесоматериалов.

Рентгеновские сканеры применительно к сортиментам позволяют одновременно измерять внешние геометрические параметры и внутренние характеристики древесины,

включая толщину коры, наличие дефектов и плотность. В таблице 1 приведено сравнение основных мировых рентгеновских систем по данным [15, 20-22].

Таблица 1. Основные рентгеновские системы, применяемые на сортировке круглых лесоматериалов

Параметр	Finnos (Финляндия)	RemaSawco RS-LogScanner3DX (Дания)	Mantex Log Scanner (Швеция)
Тип технологии	Рентген + AI (искусственный интеллект) для анализа качества бревен, интеграция с 3D-сканированием	Комбинация 3D-измерения и рентгена, 12 промышленных камер, высокое разрешение	Рентгеновский двухэнергетический сканер, двухмерное изображение, детекция камней, металлов и других включений
Измеряемые параметры	Диаметр под корой, внутренние дефекты, плотность, годовые кольца, сучки, гниль, форма и кривизна бревна	Точная форма бревна, диаметр под корой, внутренние свойства, дефекты, кривизна, овальность	Вес, объём, диаметр, плотность, обнаружение опасных включений (камни, металлы), предотвращение повреждений оборудования
Скорость сканирования	Высокая, подходит для современных лесопильных линий	Высокая, система адаптируется под производственные линии с большой пропускной способностью	Работа в режиме реального времени, минимизация простоев производства
Особенности	Более 100 установок по всему миру, лидирующая позиция на рынке, AI-алгоритмы для оптимизации сортировки и переработки	Модульная система, возможность добавления рентгена к существующему 3D-сканеру, контейнер с защитой от излучения	Самокалибровка, удалённый доступ, устойчивость к вибрациям и загрязнениям, минимальное техническое обслуживание
Область применения	Лесопильные предприятия, производство фанеры в меньшей степени - целлюлозно-бумажная промышленность, энергетика	Лесопильные предприятия, сортировка бревен, оптимизация использования сырья	Лесопильные предприятия, контроль качества древесной щепы, предотвращение повреждений оборудования
Преимущества	Высокая точность учёта коры и внутренних дефектов, повышение выхода продукции, интеграция с цифровыми системами	Лучшее на рынке [22] измерение диаметра под корой, высокая детализация 3D-модели, гибкость установки	Надёжность, точное обнаружение опасных включений, сокращение простоев, повышение безопасности

Недостатки	Высокая стоимость, необходимость квалифицированного обслуживания	Высокая стоимость, требует пространства для установки контейнера	Отсутствие 3D-моделирования формы бревна, ограниченные возможности анализа внутренних дефектов

Finnos - мировой лидер в рентгеновском сканировании круглых лесоматериалов с более чем 100 установленными системами [15]. Использует AI для анализа и сортировки, обеспечивает максимальную точность учёта коры и внутренних дефектов, что позволяет повысить выход товарной продукции и снизить потери сырья.

RemaSawco RS-LogScanner3DX - датская система [22], сочетающая 3D-сканирование с рентгеновским анализом. Обеспечивает высокое разрешение и детальную модель бревна, включая внутренние характеристики. Позволяет модернизировать существующие линии, добавляя рентгеновский модуль к 3D-сканеру.

Mantex Log Scanner - шведская система [20], ориентированная на детекцию посторонних включений (камни, металлы) и контроль качества древесной щепы. Использует двухэнергетический рентген, обеспечивает безопасность оборудования и производственного процесса, но не даёт 3D-модели бревна.

Основываясь на сравнении и факте начала внедрения в Российской Федерации, дадим более подробный анализ установки Finnos:

Основные возможности рентгеновского сканера Finnos:

Рентгеновский сканер Finnos позволяет получать точные данные о внутренней структуре бревна, включая:

- измерение диаметра бревна под корой с точностью менее 1 мм, что исключает необходимость использования поправочных коэффициентов на толщину коры;
- выявление годичных колец, доли ядровой древесины, сучков, гнили, минеральных и металлических включений;
- определение геометрии и формы бревна, включая сложные кривизны и дефекты поверхности, такие как вырывы коры;
- сортировку пиловочника по качественным характеристикам с возможностью отделения высокосортного бессучкового сырья от низкосортного;
- увеличение объёмного выхода продукции на 2–4% за счёт более точного учёта диаметра под корой и оптимизации раскроя.

Преимущества технологии:

В отличие от стандартных 3D-сканеров, которые оценивают только внешнюю форму с корой и обеспечивают точность порядка 80%, рентгеновские системы Finnos дают практически полную цифровую копию бревна, включая внутренние характеристики. Это позволяет:

- повысить точность учёта коры и древесины на этапах сортировки и распиловки;
- оптимизировать позиционирование и ориентацию бревен на лесопильных линиях;
- контролировать качество окорки и минимизировать потери сырья;
- интегрировать данные сканирования с системами управления производством и ФГИС ЛК.

К прочим техническим характеристикам относятся способность работать на скоростях подачи до 240 м/мин, что соответствует производительности современных лесопильных предприятий. Максимальный диаметр оцениваемых лесоматериалов достигает 0,7 м. Системы применимы как на крупных, так и на малых и средних предприятиях, обеспечивая универсальность и масштабируемость. Пример получения цифровой модели бревна с учётом коры показан на рисунке 1.

С точки зрения теоретических основ деревообрабатывающих операций возможность точного определения и прогнозирования толщины массива древесной коры на конкретных

лесоматериалах, и даже в конкретных сечения конкретных лесоматериалов, с учетом породы, диаметра, сбега, мест заготовки, позволяет максимально эффективно проводить оперативную настройку окорочного оборудования, с учетом уже известных математических моделей [3, 8, 9, 10, 13, 14, 19], а также выполнить их необходимую корректировку.

В свою очередь, с точки зрения практической эффективности, это позволит оптимизировать энергетические затраты на выполнение операции окорки на станках различных типов, повысить ее качество, снизить сопутствующие потери древесины. Это наиболее важно для наиболее крупных отраслей деревообрабатывающей и деревоперерабатывающей промышленности, таких как лесопильные предприятия, а также предприятия, производящие и потребляющие технологическую щепу – плитные заводы, целлюлозно-бумажные комбинаты, и т.д. [17, 18].

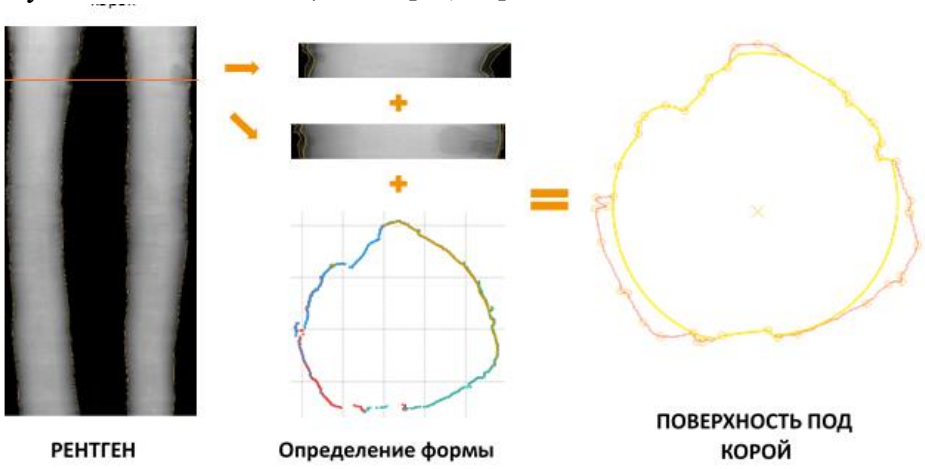


Рисунок 1. Пример цифровой модели бревна с учётом толщины коры и внутренних дефектов

Внедрение рентгеновских сканеров в лесопильную промышленность открывает новые возможности для точного учёта коры и древесины, повышения качества сортировки и оптимизации производственных процессов. Эта технология выводит цифровой учёт лесоматериалов на принципиально новый уровень, способный обеспечивать экономическую эффективность и конкурентоспособность предприятий. Однако, пока не все деревообрабатывающие предприятия оснащены рентгеновскими приборами, в целях повышения точности учёта, с одной стороны, стоит шире пользоваться текущими возможностями тех предприятий, где уже установлены 3D сканеры и накоплены массивы данных, пока недостаточно эффективно используемых для процесса оптимизации учёта и управления, а с другой стороны, подготовить почву для наиболее эффективного внедрения рентгеновской технологии для оптимизации и корректировки учётных данных по коре по всей совокупности операций от лесосеки до переработки.

Список литературы

1. Беляев Н.Л., Куницкая О.А., Вернер Н.Н., Тихонов Е.А., Алексеенко В.Г. Направления совершенствования учета круглых лесоматериалов и его нормативной базы для эффективного использования мобильных цифровых технологий // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 2 (58). С. 129-138.

2. Бирман А.Р., Григорьев И.В., Локштанов Б.М., Гулько А.Е., Орлов В.В., Бачериков И.В. Технология и оборудование лесных складов и лесообрабатывающих цехов. Механическая окорка лесоматериалов: учеб. пособие. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2013. - 92 с.

3. Газизов А.М., Бухтояров Л.Д., Григорьев И.В. Функциональная блок-схема расчета роторного окорочного станка в среде MATLAB // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (39). С. 82-88.

4. Газизов А.М., Григорьев И.В., Кацадзе В.А., Шапиро В.Я., Мурашкин Н.В. Повышение эффективности механической окорки лесоматериалов. Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2009.-239 с.

5. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Анализ современных методик расчета основных параметров окорки режущим инструментом и пути их уточнения // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2008. № 21-3. С. 231-235.

6. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Влияние влажности на развитие процесса разрушения коры при роторной окорке // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2008. № 6. С. 129-133.

7. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Исследование процесса разрушения коры при роторной окорке бревен различного диаметра // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 2 (143). С. 45-50.

8. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Моделирование процесса разрушения коры при роторной окорке древесины // Вестник КрасГАУ. 2008. № 5. С. 271-279.

9. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гумерова О.М. Моделирование процесса разрушения коры при окорке резанием // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. № 193. С. 211-221.

10. Григорьев И.В., Шапиро В.Я., Гулько А.Е. Математическая модель групповой окорки лесоматериалов в окорочных барабанах // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 154-171.

11. Мартынов А.Н., Беляева Н.В., Григорьева О.И. Современные проблемы лесовыращивания. Химический и комплексный уход за лесом: учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2008. - 80 с.

12. Патякин В.И., Редькин А.К., Базаров С.М., Бирман А.Р., Бит Ю.А., Григорьев И.В., Шадрин А.А., Чемоданов А.Н. Технология и оборудование лесных складов и лесообрабатывающих цехов: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 656300 Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств по специальности 250401 Лесоинженерное дело. Москва, Московский государственный университет леса. 2008. - 384 с.

13. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Газизов А.М. Анализ теории расчета параметров процесса окорки древесины в роторных окорочных станках // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2009. № 186. С. 110-120.

14. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гулько А.Е. Анализ методов расчета параметров и обоснование математической модели разрушения коры при групповой окорке древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 8 (121). С. 92-96.

15. Finnos: X-ray measurement systems for the forestry industry // Finnos Oy. – 2024. – URL: https://www.finnos.fi/en/. – Дата обращения: 23.05.2025.

16. Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. С. 443-446.

17. Grigorev I., Shadrin A., Katkov S., Borisov V., Gnatovskaya I., Diev R., Kaznacheeva N., Levushkin D., Druzyanova V., Akinin D. Russian sawmill modernization (a case study). Part 2: improving the efficiency of wood chipping operations // International Wood Products Journal. 2021. Т. 12. № 2. С. 128-134.

18. Grigorev I., Shadrin A., Kostyukevich N., Levushkin D., Borisov V., Diev R., Voronova A. Improving the efficiency of wood chipping operations // INMATEH - Agricultural Engineering. 2020. Т. 61. № 2. С. 217-224.

19. Grigorev I.V., Leonova O.N., Kalyashov V.A., Shvetsova V.V. Creation and experimental verification of a mathematical model of industrial debarking // Journal of Physics: Conference Series. Сер. "International Conference on Future of Engineering Systems and Technologies" 2020. С. 012021.

20. Log Scanner to protect the chipper and measure logs // Mantex. – 2024. – URL: https://www.mantex.se/products/log-scanner/features/. – Дата обращения: 23.05.2025.

21. RS-LogProfiler3DX XRay // RemaSawco. – 2019. – URL: https://remasawco.com/wp/custom/uploads/2019/05/RS-LogProfiler3DX_eng.pdf. – Дата обращения: 23.05.2025.

22. RS-LogScanner3DX: Advanced Timber Measurement System // RemaSawco. – 2024. – URL: https://remasawco.com/product/rs-logscanner3dx/. – Дата обращения: 23.05.2025.

References

1. Belyaev N.L., Kunitskaya O.A., Werner N.N., Tikhonov E.A., Alekseenko V.G. Directions for improving the accounting of roundwood and its regulatory framework for the effective use of mobile digital technologies // Systems. Methods. Technologies. 2023. No. 2 (58). pp. 129-138.

2. Birman A.R., Grigorev I.V., Lokshtanov B.M., Gulko A.E., Orlov V.V., Bacherikov I.V. Technology and equipment of timber warehouses and timber processing workshops. Mechanical debarking of timber: textbook. stipend. Saint Petersburg: SPbFTU, 2013. 92 p.

3. Gazizov A.M., Bukhtoyarov L.D., Grigorev I.V. Functional flowchart for calculating a rotary ham machine in the MATLAB environment // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2016. No. 3 (39). pp. 82-88.

4. Gazizov A.M., Grigorev I.V., Katsadze V.A., Shapiro V.Ya., Murashkin N.V. Improving the efficiency of mechanical sawing of timber. Saint Petersburg: SPbFTA, 2009.-239 p.

5. Gazizov A.M., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V. Analysis of modern methods for calculating the basic parameters of a ham with a cutting tool and ways to refine them. // Actual problems of the forest complex. 2008. No. 21-3. pp. 231-235.

6. Gazizov A.M., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V. The influence of humidity on the development of the process of bark destruction during rotary flogging // Bulletin of the Moscow State University of Forests - Lesnoy Vestnik. 2008. No. 6. pp. 129-133.

7. Gazizov A.M., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V. Investigation of the process of bark destruction during rotary cutting of logs of various diameters // Handbook. Engineering magazine. 2009. No. 2 (143). pp. 45-50.

8. Gazizov A.M., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V. Modeling of the process of bark destruction during rotary chopping of wood // Bulletin of KrasGAU. 2008. No. 5. pp. 271-279.

9. Gazizov A.M., Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Gumerova O.M. Modeling of the process of bark destruction during cutting // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2010. No. 193. pp. 211-221.

10. Grigorev I.V., Shapiro V.Ya., Gulko A.E. A mathematical model of group legging of timber in leg drums // Scientific review. 2012. No. 4. pp. 154-171.

11. Martynov A.N., Belyaeva N.V., Grigoreva O.I. Modern problems of forest cultivation. Chemical and complex forest care: a textbook. St. Petersburg: SPbFTA, 2008. - 80 p.

12. Patyakin V.I., Redkin A.K., Bazarov S.M., Birman A.R., Bit Yu.A., Grigorev I.V., Shadrin A.A., Suitmanov A.N. Technology and equipment of timber warehouses and timber processing workshops: a textbook for university students studying in the field of graduate training 656300 Technology of logging and woodworking industries specialty 250401 Forest Engineering. Moscow, Moscow State University of Forests. 2008. - 384 p.

13. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Gazizov A.M. Analysis of the theory of calculating the parameters of the wood chopping process in rotary chopping machines // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2009. No. 186. pp. 110-120.

14. Shapiro V.Ya., Grigorev I.V., Gulko A.E. Analysis of methods for calculating parameters and substantiation of a mathematical model of bark destruction during group hauling of wood // Scientific Notes of Petrozavodsk State University. 2011. No. 8 (121). pp. 92-96.

15. Finnos: X-ray measurement systems for the forestry industry // Finnos Oy. – 2024. – URL: https://www.finnos.fi/en /. – Date of access: 05/23/2025.

16. Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in the Russian Federation // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. pp. 443-446.

17. Grigorev I., Shadrin A., Katkov S., Borisov V., Gnatovskaya I., Diev R., Kaznacheeva N., Levushkin D., Druzyanova V., Akinin D. Russian sawmill modernization (a case study). Part 2: improving the efficiency of wood chipping operations // International Wood Products Journal. 2021. Vol. 12. No. 2. pp. 128-134.

18. Grigorev I., Shadrin A., Kostyukevich N., Levushkin D., Borisov V., Diev R., Voronova A. Improving the efficiency of wood chipping operations // INMATEH - Agricultural Engineering. 2020. Vol. 61. No. 2. pp. 217-224.

19. Grigorev I.V., Leonova O.N., Kalyashov V.A., Shvetsova V.V. Creation and experimental verification of a mathematical model of industrial debarking // Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Conference on the Future of Engineering Systems and Technologies" 2020. pp. 012021.

20. Log Scanner to protect the chipper and measure logs // Mantex. – 2024. – URL: https://www.mantex.se/products/log-scanner/features /. – Date of request: 05/23/2025.

21. RS-LogProfiler3DX XRay // RemaSawco. – 2019. – URL: https://remasawco.com/wp/custom/uploads/2019/05/RS-LogProfiler3DX_eng.pdf. – Date of access: 05/23/2025.

22. RS-LogScanner3DX: Advanced Timber Measurement System // RemaSawco. – 2024. – URL: https://remasawco.com/product/rs-logscanner3dx / – Date of request: 05/23/2025.

DOI: 10.58168/Forestry2025_563-570
УДК 630.181.351

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МАШИНЫ ДЛЯ ВЫБОРОЧНЫХ САНИТАРНЫХ РУБОК

С.П. Карпачев
д.т.н., профессор кафедры «Технологии и оборудование лесопромышленного производства»,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи, Россия

В.В. Абразумов
д.т.н., профессор кафедры «Механика и инженерная графика»,
Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия

Аннотация.
Представлена концептуальная модель лесозаготовительной машины для выборочных санитарных рубок, позволяющая срезать труднодоступные деревья без повреждения здоровых деревьев. На математических моделях методом цифрового моделирования исследованы технологические возможности машины на выборочных санитарных рубках с процентом деревьев, подлежащих рубке от 1 до 99%. Рекомендовано использовать лесозаготовительную машину, когда процент подлежащих рубке деревьев не превышает 60-70% от общего числа деревьев древостоя. Установлено, что в этом интервале 50% деревьев являются труднодоступными.
Ключевые слова: лесозаготовительная машина, выборочные санитарные рубки, цифровое моделирование.

DIGITAL MODELING OF MACHINE OPERATION FOR SELECTIVE SANITARY CUTTING

S.P. Karpachev
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technologies and Equipment of the Timber Industry",
Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University,
Mytishchi city, Russia

V.V. Abrazumov
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanics and Engineering Graphics, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

Abstract. A conceptual model of a logging machine for selective sanitary felling has been presented, enabling the cutting of hard-to-reach trees without damaging healthy ones. The technological capabilities of the machine for selective sanitary felling, with the percentage of trees to be cut ranging from 1 to 99%, were explored using mathematical models through digital simulation. It is recommended to use the logging machine when the percentage of trees to be cut does not exceed 60-70% of the total number of trees in the stand. It has been established that within this range, 50% of the trees are hard to reach.
Keywords: logging machine, selective sanitary felling, digital modeling.

© Карпачев С. П., Абразумов В. В., 2025

Введение. Выборочные санитарные рубки проводятся с целью улучшения санитарного состояния насаждений [5]. Рубке подлежат сухостойные, усыхающие поврежденные деревья, а также деревья, пораженные болезнями и заселенные вредителями. Обычно эти рубки назначаются по результатам лесопатологических обследований для улучшения санитарного состояния, а также для снижения природной пожарной опасности лесов. Планируются эти мероприятия лесничествами и входят в План по тушению лесных пожаров на территориях лесничеств. Например, на территории Сергиево-Посадского лесничества в рамках мероприятий по противопожарному обустройству лесов на 2025 год запланированы выборочные санитарные рубки на площади 51,2 га [8].

Санитарные рубки проводятся силами лесничеств или сторонними организациями. Как правило технология включает ручную валку деревьев бензопилами [3]. Применение на валке валочно-пакетирующих или валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин [6] не всегда эффективно технологически. Манипуляторы этих машин не отличаются гибкостью, чтобы доставлять срезающее устройство к труднодоступным деревьям, которые могут быть скрыты здоровыми деревьями, которые не подлежат рубке. Кроме того, для удаления труднодоступных деревьев машина должна съезжать с волока и маневрировать. В этом случае неминуемо повреждается почвенный покров, особенно на слабых переувлажненных грунтах. Все это ограничивает эксплуатационные возможности применения обычных лесозаготовительных машин на санитарных рубках.

Цель работы. Предложить концептуальную модель и исследовать технологические возможности предлагаемой лесозаготовительной машины на выборочных санитарных рубках.

Концептуальная модель лесозаготовительной машины. Поставленная в работе цель может быть достигнута путем обеспечения возможности доставки срезающей головки ко всем назначенным в рубку деревьям, включая труднодоступные. При этом должны исключаться повреждения рядом стоящих здоровых деревьев.

Концептуальная модель лесозаготовительной машины показана на рисунок 3. По сравнению с запатентованной лесозаготовительной машиной [7], в статье рассматривается упрощенная модель.

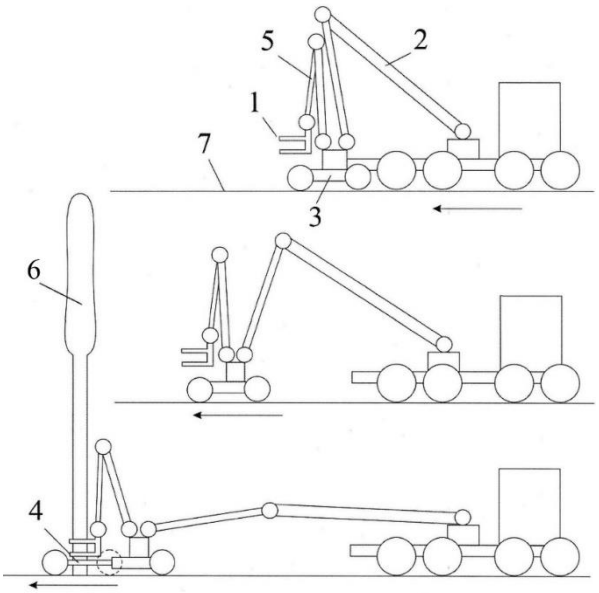


Рисунок 1. Концептуальная модель лесозаготовительной машины и принцип ее работы

Лесозаготовительная машина (рисунок 1) содержит срезающую головку 1, основной манипулятор 2, подвижную тележку 3 с изменяющимся опорным контуром 4, дополнительный манипулятор 5 для доставки срезающей головки 1 к дереву 6. Срезание

труднодоступных деревьев обеспечивает возможность поворота в горизонтальной плоскости тележки 3 относительно основного манипулятора 2.

Лесозаготовительная машина на выборочных санитарных рубках работает следующим образом (рисунок 1, 2).

Предварительно на участке леса отмечаются все деревья, которые подлежат уборки. После этого машина двигается по волоку 7, останавливается и с помощью срезающей головки 1 спиливает намеченные деревья в пределах доступа основного манипулятора.

Если намеченное для срезания дерево 6 труднодоступно, например, мешают растущие перед ним здоровые деревья, то основной манипулятор 2 перемещает тележку 3 на максимально возможное расстояние к дереву. После этого тележка 3 поворачивается относительно основного манипулятора 2 в направлении намеченного для рубки дерева 6. Затем дополнительный манипулятор 5 подводит срезающую головку 1 к дереву 6, захватывает его и срезает.

Таким образом, лесозаготовительная машина на выборочных санитарных рубках решает задачу срезания намеченных в рубку деревьев, в том числе и труднодоступных без повреждения здоровых деревьев. Также, в следствие значительно меньшей массы подвижной тележки по сравнению с машиной, воздействие на грунт будет значительно меньше.

Методика исследований. В работе ставилась задача исследования технологических возможности предлагаемой лесозаготовительной машины на выборочных санитарных рубках. Оценка проводилась по количеству срезанных намеченных в рубку труднодоступных деревьев от общего количества срезанных деревьев.

Исследования технологических возможности предлагаемой лесозаготовительной машины были выполнены методами цифрового моделирования на математических моделях [1, 2, 4, 9].

На рисунке 2 приведена расчетная схема работы лесозаготовительной машины.

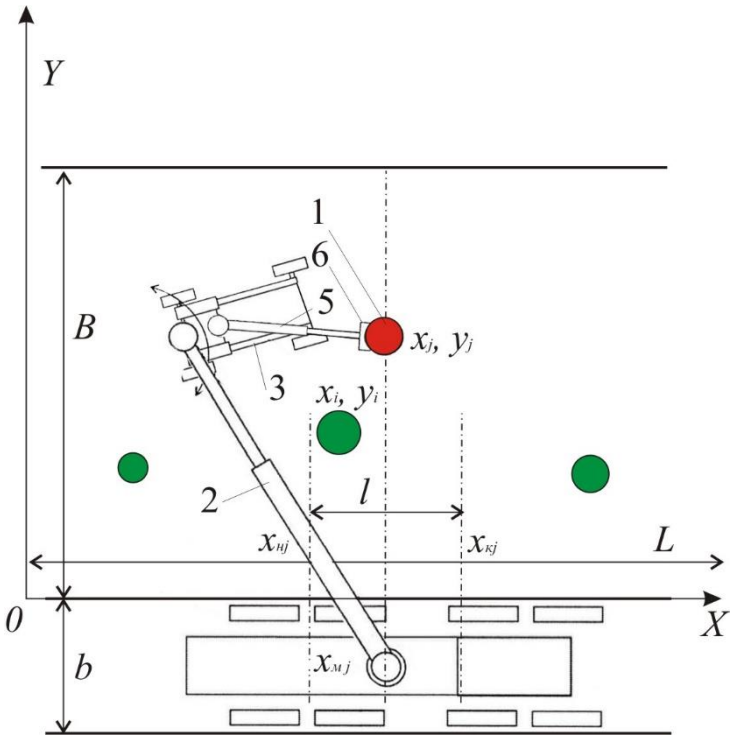


Рисунок 2. Расчетная схема работы лесозаготовительной машины

В модели были приняты следующие упрощения и ограничения:

1. Машина движется по волоку вдоль полосы леса и останавливается напротив дерева, предназначенного для рубки так, что поворотный шарнир основного манипулятора располагается на одной линии с этим деревом, как показано на рисунке 2;

2. Если дерево доступно, то срезающая головка подводится к дереву основным манипулятором.

3. Если дерево недоступно, то срезающая головка подводится к дереву основным манипулятором и дополнительным, как показано на рисунке 2.

4. Доступность дерева определялась шириной коридора безопасной работы манипулятора и срезающей головки. В работе ширина коридора принята из условия $l > 8$м. Если в коридор безопасности перед деревом, предназначенным к рубке попадало хоть одно здоровое, то срезаемое дерево считалось труднодоступным.

Ширина полосы была принята равной вылету основного манипулятора с учетом ширины волока и машины:

$$B = L_{ман} - b/2, \quad (1)$$

где: B – ширина полосы, м;
$L_{ман}$ – вылет основного манипулятора, м;
b – ширина волока, м.

В модели была установлена полоса леса длиной L = 1000 м, шириной B = 10 м. Число деревьев на полосе в экспериментах принято 500 шт./га, что характерно для Центрального региона РФ. Общее число деревьев на полосе было принято постоянным, менялся процент числа деревьев, подлежащих рубке.

Координаты каждого сгенерированного дерева на полосе определялись по равномерному закону на интервалах:

$$0 \le x_i \le L, \quad (2)$$

$$0 \le y_i \le B, \quad (3)$$

где: L – длина полосы, м;
B – ширина полосы, м;
b – ширина волока, м.

Кроме координат каждому дереву назначали дополнительный атрибут: здоровое дерево или подлежит рубке. Этот атрибут определялся как случайное число в зависимости от заданного процента подлежащих рубке деревьев.

Общая технология моделирования была принята следующей.

Здоровые и подлежащие рубке деревья задавались матрицами MATRIX (N, 4), где N – число строк матрица, которое определялось числом деревьев на участке, а 4 – число столбцов матрицы, куда входили атрибуты каждого i-ого дерева: номер дерева, координата X_i, координата Y_i, идентификатор здоровое или подлежащее рубке дерево. Матрицы задавалась в таблицах Excel, что удобно, поскольку позволяют сгенерировать датасет в виде обработанных и структурированных массивов данных здоровых и подлежащих рубке деревьев. Данные таблиц Excel можно представить графически. Пример генерации 50 деревьев на полосе размером L= 100м, B=10м и доли деревьев, подлежащих рубке равной 0,3 приведен на рисунке 3. Хорошо видно, что на данной полосе только 4 дерева из 15 подлежащих рубке не являются труднодоступными.

Сгенерированные датасеты из Excel импортировались компьютерной программой GPSS Word. С помощью встроенного языка Plus проводилась проверка доступности деревьев, подлежащих рубке.

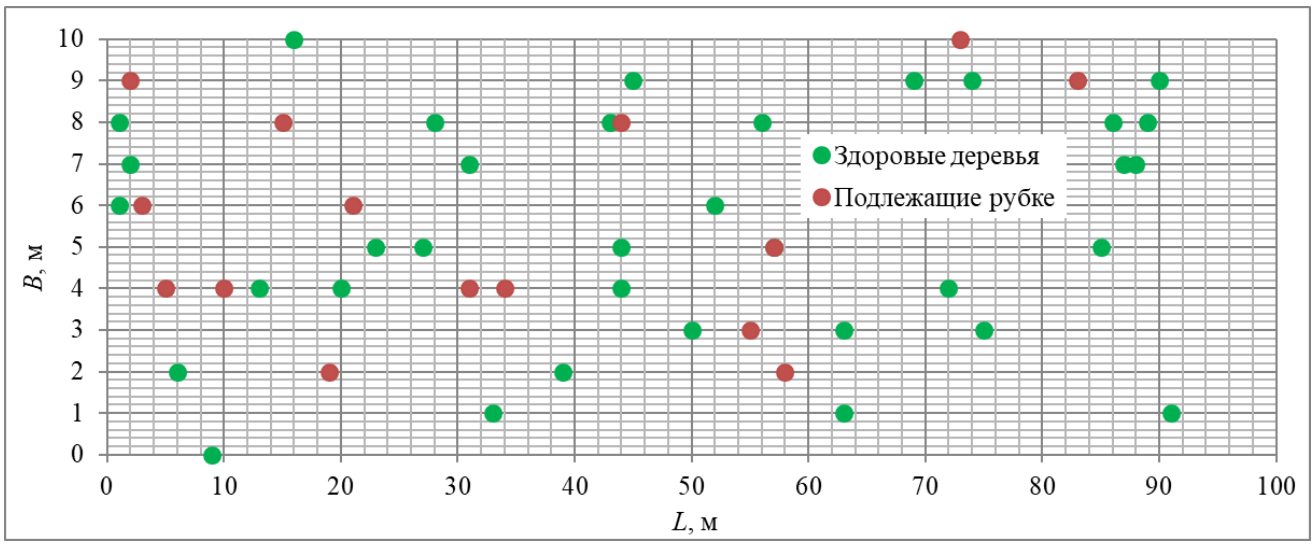


Рисунок 3. Пример генерации деревьев на полосе

Результаты экспериментов.
Матрица планирования экспериментов и результаты приведены в таблице ниже.

Матрица планирования экспериментов и результаты экспериментов

Всего деревьев, шт.	Здоровые деревья, шт.	Процент деревьев подлежащих рубке, %	Число деревьев подлежащих рубке, шт.	Из них, труднодоступные деревья, шт.	Из них, доступные деревья, шт.
500	495	1	5	4	1
500	475	5	25	20	5
500	450	10	50	42	8
500	400	20	100	88	12
500	350	30	150	134	16
500	300	40	200	169	31
500	275	45	225	191	34
500	250	50	250	209	41
500	225	55	275	181	94
500	200	60	300	159	141
500	150	70	350	129	221
500	100	80	400	81	319
500	50	90	450	38	412
500	5	99	495	2	493

Если общее число деревьев на полосе не меняется, а процент подлежащих рубке деревьев увеличивается, то число здоровых деревьев будет уменьшаться, а число деревьев, подлежащих рубке будет пропорционально расти, как показано на рисунке 4.

Эксперименты показали, что число труднодоступных для рубки деревьев растет пока число здоровых деревьев не сравняется с числом деревьев, подлежащих рубке. С начала уменьшения здоровых деревьев по отношению к деревьям подлежащих рубке, число труднодоступных деревьев падает. Так, например, при росте процента числа деревьев, подлежащих рубке с 5% до 50%, число труднодоступных деревьев увеличивается с 4 до 209, а затем, при 90% уменьшается до 38. При этом, изменения числа труднодоступных деревьев на этих интервалах увеличивается, а затем уменьшается практически линейно. Причем все точки находятся в нижней части графика между линий изменения здоровых и подлежащих рубке деревьев. Эти точки близко описываются полиномиальной кривой со степенью 2.

Число легкодоступных деревьев с ростом числа деревьев, подлежащих рубке и соответствующего уменьшения здоровых деревьев ожидаемо растет. Закон этого роста близко описывается экспоненциальной зависимостью.

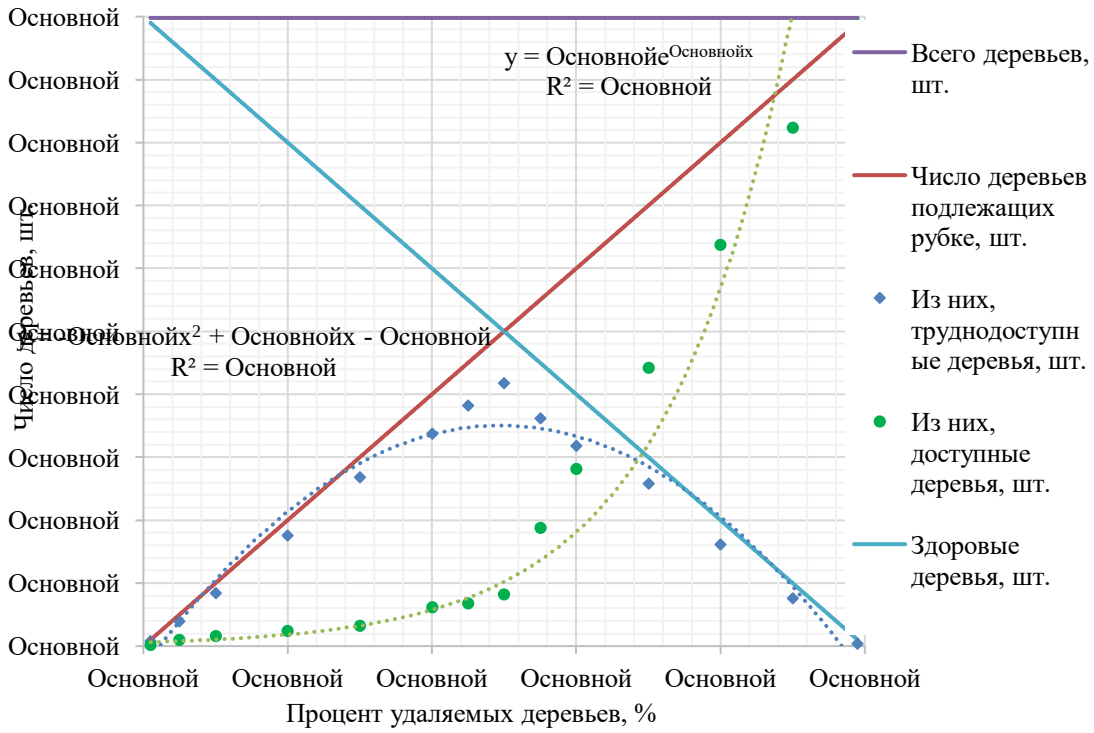


Рисунок 4. Изменение количества труднодоступных и доступных деревьев в зависимости от процента деревьев, подлежащих рубке.

Выводы. Рассмотренная в статье концептуальная модель лесозаготовительной машины может быть использована на выборочных санитарных рубках. Эксперименты с математической моделью лесозаготовительной машины на полосе леса показали, что тележка с дополнительным манипулятором используется в 50% и более случаев рубки деревьев, когда процент подлежащих рубке деревьев в древостое не превышает 60-70%.

Список литературы

1. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учебное пособие для вузов / В. Д. Боев. Москва: Издательство Юрайт, 2023. 253 с. (Высшее образование). ISBN 978-5-534-04734-9. Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. URL: https://urait.ru/bcode/514932 (дата обращения: 08.07.2025).

2. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем. Инструментальные средства GPSS WORLD: учебное пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.

3. Комитет лесного хозяйства Московской области. Проведение сплошных санитарных рубок в Подмосковье: где и зачем? 8 июля 2025г. URL: https://klh.mosreg.ru/sobytiya/novosti-ministerstva/provedenie-splosnyx-sanitarnyx-rubok-v-podmoskove-gde-i-zacem-2 (дата обращения: 08.07.2025).

4. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.

5. ОСТ 56-108-98 Стандарт отрасли лесоводство. Термины и определения. URL: https:// https://klh.mosreg.ru/dokumenty/spravochnaya-literatura/gosty-i-osty/ost-56-108-98-lesovodstvo-terminy-i-opredeleniya (дата обращения 08.07.2025).

6. Официальный сайт Орехово-Зуевского городского округа. Орехово-Зуевский филиал ГКУ МО «Мособллес» информирует о запланированных на 2021 год санитарных рубках. 21 января 2021г. URL: https:// https://ozmo.ru/article/orehovo-zuevskij-filial-gku-mo-mosoblles-informiruet-o-zaplanirovannyh-na-2021-god-sanitarnyh-rubkah-231006 (дата обращения: 08.07.2025).

7. Патент на полезную модель RU 203855 U1, 23.04.2021. МКИ A01G 23/08. Лесозаготовительная машина / заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество "КАМАЗ"/ Назаренко С.В., Харьков С.М., Шагиев Р.А., Хафизов Р.Д., Карташов А.Б., Карпачев С.П., Быковский М.А., Карпачева И.П.; Заявка № 2020143267 от 28.12.2020. Опубликовано: 23.04.2021 Бюл. № 12

8. План по тушению лесных пожаров на территории Сергиево-Посадского лесничества Московской области на период пожароопасного сезона 2025 года. / Комитет лесного хозяйства Московской области. пос. Лесхоза. 2024г. 81с. URL: https://klh.mosreg.ru/download/document/15018350 (дата обращения: 08.07.2025).

9. S.P. Karpachev and R.I. Diev, 2022. Modeling of technology for cleaning up forest debris of wood natural mortality using the multi-operation machine/ In BIO Web Conf.Volume 48, The 2nd International Conference “Sport and Healthy Lifestyle Culture in the XXI Century” (SPORT LIFE XXI) DOI: https://doi.org/10.1051/bioconf/20224804004

References

1. Boev V.D. Simulation Modeling of Systems: A Textbook for Higher Education Institutions / V.D. Boev. Moscow: Yurait Publishing House, 2023. 253 pages. (Higher Education). ISBN 978-5-534-04734-9. Text: electronic // Yurait Educational Platform [website]. URL: https://urait.ru/bcode/514932 (accessed: 08.07.2025).

4. Kudryavtsev E. M. GPSS World. Fundamentals of simulation modeling of various systems. – Moscow: DMK Press, 2004. – 320 pages.

5. OST 56-108-98 Industry Standard in Forestry. Terms and definitions. URL: https://klh.mosreg.ru/dokumenty/spravochnaya-literatura/gosty-i-osty/ost-56-108-98-lesovodstvo-terminy-i-opredeleniya (accessed 08.07.2025).

6. Official website of the Orekhovo-Zuyevo urban district. The Orekhovo-Zuyevo branch of the GKU MO "Mososbless" informs about the planned sanitary felling for 2021. January 21, 2021. URL: https://ozmo.ru/article/orehovo-zuevskij-filial-gku-mo-mosoblles-informiruet-o-zaplanirovannyh-na-2021-god-sanitarnyh-rubkah-231006 (accessed: 08.07.2025).

7. Patent for a utility model RU 203855 U1, dated 23.04.2021. IPC A01G 23/08. Logging machine / applicant and patent holder Public Joint Stock Company "KAMAZ" / Nazarenko S.V., Kharkov S.M., Shagiev R.A., Khafizov R.D., Kartashov A.B., Karpachev S.P., Bykovsky M.A., Karpacheva I.P.; Application No. 2020143267 filed on 28.12.2020. Published: 23.04.2021 Bulletin No. 12.

8. Plan for extinguishing forest fires in the territory of the Sergiev Posad forestry in the Moscow region for the fire hazard season of 2025. / Committee of Forestry of the Moscow Region. Pos. Leskhoza. 2024. 81 pages. URL: https://klh.mosreg.ru/download/document/15018350 (accessed: 08.07.2025).

9. S.P. Karpachev and R.I. Diev, 2022. Modeling of technology for cleaning up forest debris of wood natural mortality using the multi-operation machine/ In BIO Web Conf.Volume 48, The 2nd International Conference “Sport and Healthy Lifestyle Culture in the XXI Century” (SPORT LIFE XXI) DOI: https://doi.org/10.1051/bioconf/20224804004

DOI: 10.58168/Forestry2025_571-577
УДК 630 378

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВАЛЕЖНИКА

С.П. Карпачев
д.т.н., профессор кафедры «Технологии и оборудование лесопромышленного производства»,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи, Россия
В.В. Абразумов
д.т.н., профессор кафедры «Механика и инженерная графика»,
Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Россия

Аннотация. Представлена цифровая модель метода линейных пересечений, позволяющая оценить формулы, полученные теоретическим путем. Ошибка оценки числа валежника в опытах и по теоретическим формулам не превысила 1,5%. Рекомендовано использовать теоретические формулы метода линейных пересечений для количественной оценки лесных горючих материалов при проведении мероприятий противопожарного обустройства лесов. Установлено потребное число линий отбора образцов в зависимости от количества валежника.

Ключевые слова: лесные горючие материалы, валежник, цифровое моделирование.

DIGITAL MODELING OF DEADWOOD ASSESSMENT

S.P. Karpachev
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technologies and Equipment of the Timber Industry",
Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University,
Mytishchi city, Russia
V.V. Abrazumov
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanics and Engineering Graphics, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

Abstract. A digital model of the linear intersection method is presented, allowing to evaluate the formulas obtained theoretically. The error in estimating the amount of deadwood in experiments and according to theoretical formulas did not exceed 1.5%. It is recommended to use theoretical formulas of the linear intersection method for quantitative assessment of forest combustible materials when carrying out forest fire prevention measures. The required number of sampling lines is established depending on the amount of deadwood.

Keywords: forest combustible materials, deadwood, digital modeling.

Введение. Лесные пожары являются основной причиной повреждения и гибели лесов на значительных площадях. Ежегодно в России происходит более 10 тыс. лесных пожаров. [2]. Согласно данным МЧС России и Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) в России в год регистрируется от 9 тыс. до 35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 500 тыс. до нескольких млн га. [5], [4].

Мероприятия по повышению пожароустойчивости насаждений позволяют снизить риски возникновения лесных пожаров и ограничить распространение, если пожар возник.

© Карпачев С. П., Абразумов В. В., 2025

Эти мероприятия включают в себя очистки леса от захламленности, проведения выборочных и сплошных санитарных рубок, рубок ухода, очистки лесосек от порубочных остатков.

Согласно классификации природной пожарной опасности лесов [6], наиболее пожароопасные (I класс пожарной опасности) – это, в частности, захламленные леса, участки бурелома и ветровала, места сплошных рубок с оставлением деревьев и порубочных остатков, захламленные гари. Вся эта древесина относится к лесным горючим материалам. Выявление и количественная оценка критического запаса таких горючих материалов является важнейшей задачей противопожарного обустройства лесов. В статье рассматриваются скопления древесины, лежащей на земле, в частности снеголомные и буреломные деревья, валежник и части деревьев естественного отпада. Все эти скопления для краткости в статье будем называть валежником [3]. Пример такого скопления приведен на рисунке 1.

Рисунок 1. Пример скопления валежника. Тверская область. Фото автора

Цель работы. Исследовать на цифровой модели точность теоретических формул метода линейных пересечений для оценки валежника.

Метод оценки валежника. Для оценки количества валежника на лесном участке нами рассматривается метод линейных пересечений [1].

Суть метода состоит в том, что на участке леса, где лежит валежник прокладывается одна или несколько линий, называемых линиями отбора образцов. Затем подсчитываются все пересечения валежника с этими линиями. Пересеченный линиями отбора образцов валежник рассматривается как статистическая выборка, по которой делается оценка всей совокупности валежника на участке. Теоретические исследования этого метода, проведенного автором, рассмотрена в монографии [1].

Скопления валежника на участке в теоретических исследованиях представлялись отрезками, равными длине ствола валежника l_i. Рассматривался плоский прямоугольный участок, длиной L и шириной B, на котором находился валежник, длиной l. Валежник на схеме (рисунок 2) представлен отрезком прямой.

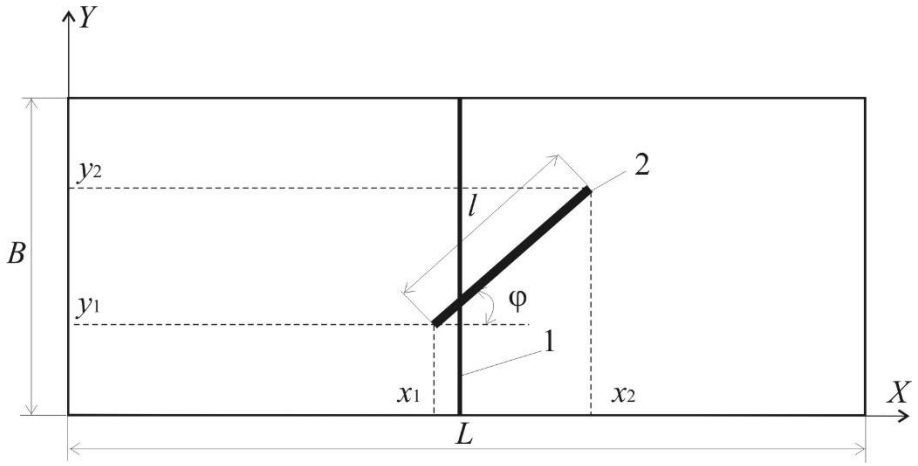


Рисунок 2. Расчетная схема: 1 – линия отбора образцов, 2 – валежник в виде отрезка прямой

В результате теоретических исследований для равномерного закона распределения координат положения валежника на площадке и угла его ориентации, автором были получены формулы, позволяющие вычислить вероятность пересечения валежника с линией отбора образцов, а также математического ожидания числа пересечений валежника с линией отбора образцов на площадке и дисперсию [1]. Эти формулы позволяют определить общее число валежника на площадке. Учитывая, что формулы были получены при ряде упрощающих допущений, решено было проверить их справедливость на цифровых моделях.

Методика исследований. Цифровая модель имитировала процесс количественной оценки валежника на участке леса методом линейных пересечений. Модель была реализована на языке Python с обращением к библиотеке NumPy.

В модели участок леса задавался площадкой размером *L*x*B*, равной 100x100м (рисунок 2). Весь валежник имел одинаковую длину l = const. При этом соблюдалось условие $l < L/2$.

Модель позволяла задавать на площадке любое количество валежника *N*.

Распределение координат одного из концов *i*-ого валежника x_{1i}, y_{1i} принималось по равномерному закону соответственно на интервалах [*0*, *L*] и [0, *B*].

Угол φ_i ориентации ствола валежника относительно оси координат *OX* также был задан равномерным распределением на интервале $[-\pi/2, +\pi/2]$.

Координаты второго конца *i*-ого валежника x_{2i}, y_{2i} определяли по формулам:

$$x_{2i} = x_{1i} + l \cdot \cos\varphi_i, \text{ м} \quad (1)$$

$$y_{2i} = y_{1i} + l \cdot \sin\varphi_i, \text{ м} \quad (2)$$

Линия отбора образцов проходила через всю площадку по ширине и на расстоянии *L*/2 по длине площадки.

На рисунке 3 показана визуализация компьютерной генерации скоплений валежника на площадке, а также линия отбора образцов. Пример приведен для количества валежника $N = 20$ шт. Поскольку $l << L$, то краевыми эффектами мы пренебрегали.

Факт пересечения *i*-ого валежника с линией отбора образцов устанавливали из условия:

$$\left(x_{2i} \geq L_{отб}(x)/2\right) \& \left(x_{1i} \leq L_{отб}(x)/2\right). \quad (3)$$

где $L_{отб}(x)$ – координата *x* линии отбора образцов относительно оси координат *OX*.

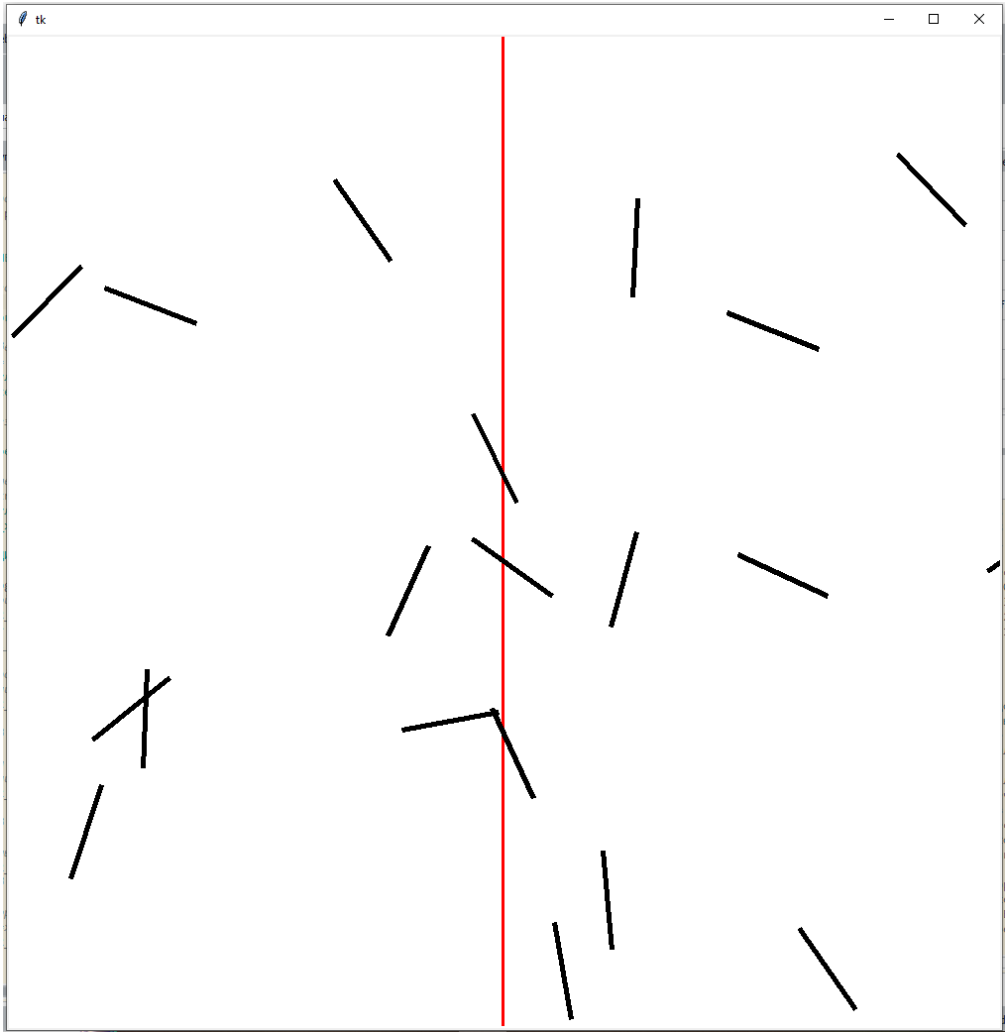


Рисунок 3. Визуализация линии отбора образцов и компьютерной генерации валежника из 20 штук

Исходными данными для программы были:

1. Число площадок с линией отбора образцов n. В модели было принято $n = 10000$.
2. Число штук валежника на площадке N.
3. Длина валежника l.

Перед прогонами модели в программе задавали вектор пересечений валежника с линией отбора образцов размером равным числу прогонов модели n. Также задавалась матрица характеристик валежника размером: число валежника на площадке N на число характеристик валежника.

Генерировались и определялись следующие характеристики валежника:

1. Координата x_1;
2. Координата y_1;
3. Угол φ_i ориентации относительно оси координат OX;
4. Длина l;
5. Координата x_2;
6. Координата y_2;
7. Факт пересечения валежником линии отбора образцов.

Число штук валежника на площадке варьировалось в опытах от 20 до 100 шт./га.

Координаты валежника x_1, y_1 и его угол φ_i ориентации относительно оси координат OX определяли, как случайные числа по методике, описанной выше.

Длина валежника l в каждой серии опытов была постоянной l = 10 м.

Координаты валежника x_2, y_2 вычислялись по формулам (1) и (2).

Все характеристики по каждому валежнику после каждого прогона заносились в матрицу характеристик.

Факт пересечения валежника с линией отбора образцов устанавливался по выполнению условия (3). Если условие (3) имело значение TRUE, то в матрицу характеристик для данного валежника заносилась 1, если FALSE – 0.

После каждого прогона в вектор пересечений валежника записывалось суммарное число их пересечений с линией отбора образцов.

По заданному в модели количества валежника на участке по теоретическим формулам вычислялись:

1. Вероятность пересечения валежника с линией отбора образцов.

2. Математическое ожидание числа пересечений валежника $M[m]$ с линией отбора образцов.

3. Дисперсия числа пересечений валежника с линией отбора образцов.

4. Потребное число линий отбора образцов n для уровня значимости 0,05 и показателя точности P=20% и P = 5%.

Данные вектора пересечений, в котором хранились записи пересечений валежника с линией отбора образцов в опытах, рассматривались как статистический ряд.

В результате статистической обработки этого ряда определялись:

1. Среднее число пересечений валежника с линией отбора образцов.

2. Дисперсия.

3. Число валежника на площадке.

4. Потребное число линий отбора образцов n для уровня значимости 0,05 и показателя точности P=20% и P = 5%.

Оценка числа валежника на площадке $\tilde{N}$, полученная по результатам опытов, сравнивалась с истинным числом валежника N на площадке и вычислялась ошибка по формуле:

$$ERROR = \frac{N - \tilde{N}}{N} \cdot 100\% \qquad (4)$$

Результаты экспериментов.

Анализ результатов моделирования показал, что среднее число пересечений валежника с линией отбора образцов, полученные по теоретическим формулам и в опытах для всего диапазона изменения числа штук валежника на участке практически совпадают и не выходят за пределы доверительного интервала выборки пересечений валежника с линией отбора образцов для показателя точности P=20% и P = 5 %, уровня значимости 0,05.

Также потребное число линий отбора образцов и среднее число пересечений валежника с линией отбора образцов полученные по теоретическим формулам и в опытах различаются незначительно. Ошибка оценки числа валежника в опытах и по теоретическим формулам не превысила 1,5%. Для наглядности на рисунке 4 и рисунке 5 представлены результаты моделирования в виде графиков.

Таким образом, моделирование скоплений валежника при равномерном законе распределения их координат и угла ориентации подтверждают результаты теоретических исследований.

Выводы. Рассмотренная в статье цифровая модель метода оценки валежника, как горючего лесного материала, может быть использована для исследований точности метода при разных характеристиках валежника. Эксперименты с цифровой моделью показали, что формулы, полученные теоретическим путем, могут быть использовании для

количественной оценки валежника при проведении как при лесопатологических обследованиях, так и при планировании противопожарного обустройства лесов.

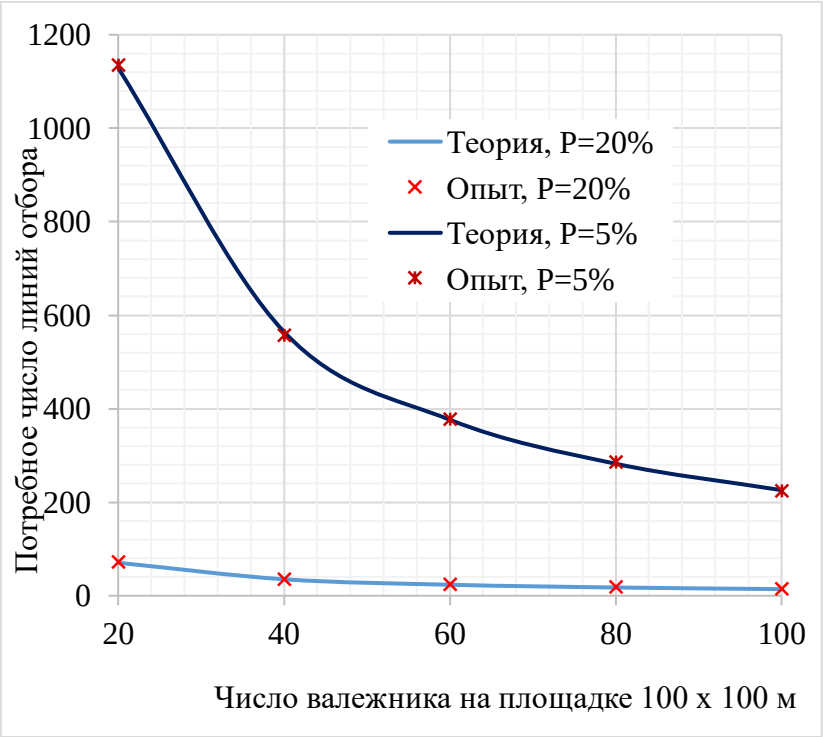


Рисунок 4. Зависимость потребного числа линий отбора образцов от числа валежника на площадке

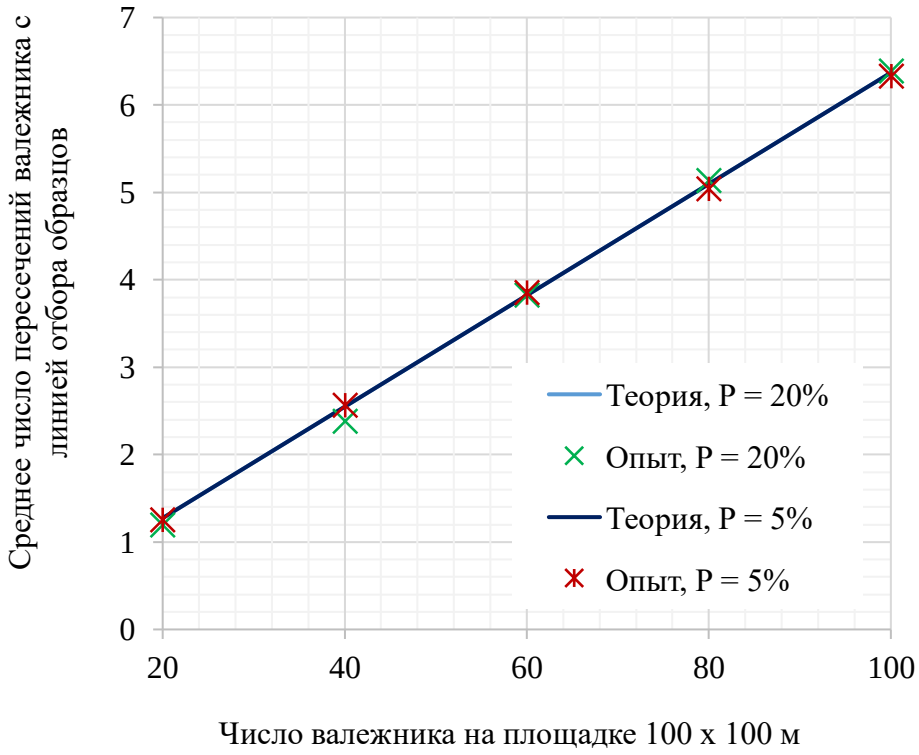


Рисунок 5. Зависимость среднего числа пересечений валежника от числа валежника на площадке

Список литературы

1. Карпачев С.П., Щербаков Е.Н. Статистическая оценка количества и качества скоплений древесины, образующихся на лесных участках и в водоемах - М.: МГУЛ, 2013. – 129 с.: ил.

2. Лесные пожары. Рослесхоз [сайт]. URL: https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest-security-and-protection/fires/(дата обращения: 08.07.2025).

3. ОСТ 56-108-98 Стандарт отрасли лесоводство. Термины и определения. URL: https://klh.mosreg.ru/dokumenty/spravochnaya-literatura/gosty-i-osty/ost-56-108-98-lesovodstvo-terminy-i-opredeleniya (дата обращения 08.07.2025).

4. План по тушению лесных пожаров на территории Сергиево-Посадского лесничества Московской области на период пожароопасного сезона 2025 года. / Комитет лесного хозяйства Московской области. пос. Лесхоза. 2024г. 81с. URL: https://klh.mosreg.ru/download/document/15018350 (дата обращения: 08.07.2025).

5. Статистика по лесным пожарам в России. Размер ущерба и "антирекорды" затронувших земли лесного фонда. [сайт]. URL: https://tass.ru/info/14586659 (дата обращения: 08.07.2025).

6. ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА. ПРИКАЗ от 5 июля 2011 года N 287. Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды. Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 17 августа 2011 года, регистрационный N 21649. URL: https://docs.cntd.ru/document/902289183.

References

1. Karpachev S.P., Shcherbakov E.N. Statistical assessment of the quantity and quality of wood accumulations formed in forest areas and water bodies - M.: MGUL, 2013. - 129 p.: ill.

2. Forest fires. Rosleskhoz [website]. URL: https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest-security-and-protection/fires (accessed 08.07.2025).

3. OST 56-108-98 Industry Standard in Forestry. Terms and definitions. URL: https://klh.mosreg.ru/dokumenty/spravochnaya-literatura/gosty-i-osty/ost-56-108-98-lesovodstvo-terminy-i-opredeleniya (accessed 08.07.2025).

4. Plan for extinguishing forest fires in the territory of the Sergiev Posad forestry in the Moscow region for the fire hazard season of 2025. / Committee of Forestry of the Moscow Region. Pos. Leskhoza. 2024. 81 pages. URL: https://klh.mosreg.ru/download/document/15018350 (accessed: 08.07.2025).

5. Statistics on forest fires in Russia. Amount of damage and "anti-records" of those affecting forest lands. [website]. URL: https://tass.ru/info/14586659 (accessed: 08.07.2025).

6. FEDERAL FORESTRY AGENCY. ORDER of July 5, 2011 N 287. On approval of the classification of natural forest fire hazard and the classification of forest fire hazard depending on weather conditions. Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on August 17, 2011, registration N 21649. URL: https://docs.cntd.ru/document/902289183 (accessed: 08.07.2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_578-596
УДК 629.017;656.5;69.057

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА РАЗРАБОТКУ МАШИНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ С МАНИПУЛЯТОРОМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ, ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ НЕОТЛОЖНЫХ РАБОТ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

В.Ф. Кушляев,
к-т. техн. наук, с.н.с,
Д.В. Кушляев,
инженер,
О.В. Кушляева,
инженер
Т.В. Стефанская,
инженер
НТЦ ЗАО «Машлес».

Аннотация. В статье рассмотрены основные разделы технического задания оценки нормативных показателей эксплуатационных свойств транспортно-технологических машин для условий Крайнего Севера. Систематизированы факторы, параметры и показатели, определяющие эксплуатационные свойства машины. Представлены основные образцы машин, для которых на разных этапах создания были разработаны технические задания.

Ключевые слова: Техническое задание (ТЗ), транспортно-технологическая машина (ТТМ), транспортная система, Крайний Север, сочлененная аварийно-спасательная машина (АСМ), пожарно-спасательная машина (ПСМ), поисково-спасательная машина, валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочная машина, модульный принцип компоновки машины, совершенствование эксплуатационных свойств машины.

TECHNICAL SPECIFICATION FOR THE DEVELOPMENT OF AN ALL-TERRAIN VEHICLE WITH A MANIPULATOR FOR EMERGENCY RESCUE AND OTHER URGENT WORK IN THE FAR NORTH

V. F. Kushljaev, D.V. Kushljaev, O.V. Kushljaeva, T.V. Stefanskaya

Abstract. The article considers the main sections of the terms of reference for assessing the normative indicators of the operational properties of transport and technological machines for the conditions of the Far North. The factors, parameters and indicators determining the operational properties of the machine are systematized. The main samples of machines are presented, for which technical specifications were developed at different stages of creation.

Keywords: Terms of Reference (TK), transport and technological machine (TTM), transport system, Far North, articulated emergency rescue vehicle (AFM), fire rescue vehicle (PSM), search and rescue vehicle, felling-knot-cutting-leg-bucking machine, modular principle of machine layout,, improving the operational properties of the machine.

Эффективность использования и качество функционирования специальных машин повышенной проходимости (погрузочно-транспортных, аварийно-спасательных, пожарных и ряда других машин, предназначенных для использования в чрезвычайных, (экстремальных ситуациях) определяются уровнем их работоспособности и надежности.

© Кушляев В.Ф., Кушляев Д.В., Кушляева О.В., Стефанская Т.В.,2025

Обычно оценку и расчет нормативных показателей работоспособности и надежности начинают выполнять на стадии разработки технического задания и продолжают на следующих этапах создания и эксплуатации машины. Эффективная работоспособность и качество машины обеспечиваются комплексом конструкторских, технологических и эксплуатационных мероприятий на всех стадиях создания и использования машины [1-5,8,11,13].

Качество машин оценивается с помощью показателей: назначения, надежности, технологичности, эргономичности, стандартизации и унификации и патентно-правовых [9,10,11,12, 14].

Академией МЧС России совместно с заводами и НТЦ ЗАО «Машлес» в период 2014 - 2022 гг. в рамках НИР, НИОКР, Соглашений с заводами , дипломных работ, диссертаций проведено обоснование компоновки, технических параметров и эксплуатационных показателей машин для аварийно-спасательных и других неотложных работ (технология и система машин с окоркой деревьев на лесосеке для безопасной заготовки и утилизации древесины, зараженной радиацией, опасных сухостойных, изъеденных короедом и обгорелых деревьев), в том числе выполнено несколько НИР и НИОКР совместно с машиностроительными заводами .(Пункт 1 – пункт 20).

В результате Академией МЧС России совместно с заводами и НТЦ АО «Машлес» были разработаны Технические задания на проектирование и изготовление опытных образцов машин [9,10-14].

С учетом разрабатываемых и выпускаемых заводами машин в академии формируются и выполняются выпускные квалификационные работы (дипломные проекты) студентов, курсантов, слушателей и диссертационные работы магистрантов. За прошедший период было защищено, в основном, на отлично более 22 ВКР и диссертаций 7,10, ,12,-14].

Заводы совместно с академией и НТЦ ЗАО «Машлес» принимают участие в семинарах, конкурсах, конференциях по актуальным вопросам обеспечения безопасности, в т.ч. по вопросам гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций. Технические решения, направленные на совершенствование эксплуатационных свойств и технических параметров, выполненные на уровне новизны, оформляются в виде совместных заявок на изобретения с участием специалистов завода [6].

Заводы и НТЦ ЗАО «Машлес» совместно с академией гражданской защиты принимают участие в оформлении и подаче Заявок-обоснований и Технических заданий на выполнение НИОКР на получение грантов из фондов и программ МЧС России [2, 5,7,11,12,14].

1. Наименование, шифр, основание, исполнитель и сроки выполнения

1.1. НИОКР «Разработка гусеничной машины повышенной проходимости с крановой установкой грузоподъемностью 16 т для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ (на двух-гусеничном шасси ТСГ или четырех-гусеничном шасси ТСК). Далее по тексту машина, кран, кран КСГ– 16А. (Все изложение ТЗ дается как научный аналог. Текст не согласован с заводами).

1.2 Шифр работы «Кран КСГ – 16А».

1.3 Основание для выполнения работы – «План научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2017 год и на период 2018 – 2019 годов». Или принимается совместное решение для выполнения инициативной работы № от 2017 г. «О разработке гусеничной машины повышенной проходимости с крановой установкой грузоподъемностью 16 т для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ», утвержденное начальником научно-технического управления МЧС России 2017 г. А. И. Овсяником.

1.4 Исполнители:

ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»,

АО «Галичский автокрановый завод»,

ООО «ЕЗСМ «Континент».

1.5 Сроки выполнения работы:

Начало: январь 2017 года.

Окончание: декабрь 2019 года.

2. Цель выполнения работы, наименование и индекс изделия

2.1 Целью выполнения работы является разработка гусеничной машины повышенной проходимости с крановой установкой грузоподъемностью 16 т, предназначенной для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ (на двухгусеничном шасси ТСГ или четырех-гусеничном шасси ТСК завода ООО «ЕЗСМ «Континент) в условиях бездорожья, пересеченной местности и временных сезонных дорог.

2.2 Полное наименование: гусеничная машина повышенной проходимости с крановой установкой грузоподъемностью 16 т для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ «Кран КСГ – 16А».

2.3 Индекс крана гусеничного для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ – «Кран КСГ – 16А».

2.4 Кран разрабатывается для обеспечения потребностей МЧС России.

2.5 За базовую конструкцию рабочего оборудования необходимо принять серийную крановую установку, крана автомобильного военного назначения КС-45719-7М.

3. Тактико-технические требования к изделию

Кран предназначен для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ в условиях бездорожья, пересеченной местности и временных сезонных дорог.

3.1 Состав изделий

3.1.1 В состав крана должны входить:

- шасси двух-гусеничное ТСГ или четырех-гусеничное ТСК повышенной проходимости;

крановая установка с трех-секционной телескопической стрелой (объект гостехнадзора и МЧС России);

опорная рама с выносными опорами;

комплект запасных частей, инструмента и принадлежностей (одиночный ЗИП);

комплект безопасности (каска, багор, монтажный ремень) для выполнения погрузочно-разгрузочных работ;

строп четырех-ветвевой канатный грузоподъемностью 10 т (объект гостехнадзора);

комплект универсального многооборотного крепления УМК-ТК;

комплект эксплуатационной документации.

3.1.2 Индивидуальный комплект ЗИП допускается размещать снаружи и внутри машины.

3.1.3 Состав эксплуатационной документации должен соответствовать требованиям ГОСТ 2.601 и ГОСТ РВ 0002-601.

3.1.4 Расчет крана – 2 человека (крановщик, помощник).

3.2 Требования назначения

Кран должен соответствовать требованиям ГОСТ 22827, ГОСТ ВД 22827, ОТТ 7.1.200 и следующим показателям назначения:

3.2.1. Грузоподъемность максимальная с основной стрелой крана

при работе с обычными и опасными грузами, т:

- на выдвинутых опорах на вылете не менее 3,8 м, не менее 16,0
- на втянутых опорах на вылете 3,0 м, не менее 4,6
- без опор на вылете 12,0 м, не менее 1,4

3.2.2. Переезд с грузом на крюке с основной стрелой на вылете 3,0 м,

т, не менее 1,4

3.2.3. Максимальный грузовой момент, не менее, тм 60,8

3.2.4. Длина стрелы, не менее, м 21,0

3.2.5. Вылет наименьший, м, не более 2,0
3.2.6. Вылет наибольший, м, не менее 19,5
3.2.7. Глубина опускания, м, не менее:
при однократной запасовке каната с основной стрелой
на вылете 5,4 м 40,0
при шестикратной запасовке каната с грузом равным 50 % грузоподъемности на соответствующем вылете 5,0
3.2.8. Скорость подъема-опускания максимального груза, м/мин,
не менее: 8,5
3.2.9. Скорость опускания груза, м/мин, не более 0,2
3.2.10. Частота вращения стрелы, об/мин:
- наименьшая, не более 0,3
- наибольшая, не менее 2,5
3.2.11. Время полного изменения вылета стрелы (21,0 м), с,
не менее 40
3.2.12. Скорость выдвижения-втягивания секции стрелы, м/мин,
не более 15
3.2.13. Время перевода крана из транспортного положения в рабочее
(и обратно), мин, не более 4
3.2.14. Время перезапасовки грузового каната с шестикратной
запасовки на однократную, мин, не более 8
3.2.15. Время перезапасовки грузового каната с однократной
запасовки на шестикратную, мин, не более 15
3.2.16. Максимальная транспортная скорость на горизонтальном
участке дороги с твердым покрытием, км/ч, не менее 60
3.2.17. Глубина преодолеваемого брода с твердым дном с учетом естественной волны, м, не менее 1,6
3.2.18. Преодолеваемые препятствия:
- подъем (спуск), крутизной, град, не менее 30
- косогор, крутизной, град, не менее 20
3.2.19. Угол свеса, град, не менее:
- передний 30
- задний 21
3.2.20. Группа классификации (режима) крана (по ИСО 4301/1) А1
3.2.21. Группа классификации (режима) механизмов (по ИСО 4301/1):
- подъема М3
- изменения вылета М2
- поворота М2
- выдвижения стрелы М1
- передвижения крана М1
3.2.22. Удельный контрольный расход топлива в крановом режиме
работы, л/ч, не более 10
3.2.23. Полная масса крана, т, не более 22,5
3.2.24. Нагрузка на переднюю тележку, т, не более 7,5
3.2.25. Нагрузка на заднюю тележку, т, не более 15,0
-Фактические значения уточняются по результатам испытаний
3.2.26 Среднее удельное давление на грунт, кПа, (кгс/см^2) 2,2(0,22)
3.2.27 Запас хода, км, не менее 500
3.3 Требования радиоэлектронной защиты
Не предъявляются.
3.4 Требования живучести и стойкости к внешним воздействиям

3.4.1 Климатическое исполнение – У, категория размещения I по ГОСТ 15150 для эксплуатации при температуре окружающего воздуха от – 60 С° до + 40 С° и при скоростном напоре ветра, равном 125 Па, при работе с основной стрелой на высоте до 10 м над уровнем земли и при скоростном напоре ветра не более 150 Па на высоте до 14 м.

3.4.2 Уровень радиопомех, создаваемых при работе краном, не должен превышать значений, установленных «Общероссийскими нормами допуска-емых индустриальных радиопомех».

3.4.3 Детали металлоконструкций и механизмов крана должны быть предохранены от коррозии. Окраска крана должна выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ В 9.078 по отраслевой нормативно-технической документации на лакокрасочные покрытия.

3.4.4 Покрытия должны быть устойчивы к моющим средствам, средствам дегазации, дезактивации и дезинфекции.

3.4.5 Сборочные единицы и детали, предназначенные для использования в качестве запасных частей, должны быть загрунтованы и окрашены так же, как сборочные единицы и детали, предназначенные для комплектации крана.

3.5 Требования надежности

3.5.1. Средняя наработка на отказ, ч, не менее 200

3.5.2. Восьмидесятипроцентный ресурс до капитального ремонта, ч, не менее 7300

3.5.3. Среднее время восстановления, ч, не более 1,5

3.5.4. Коэффициент технического использования, не менее 0,8…0,9

3.5.5. Показатели надёжности оцениваются на всех этапах разработки образца и уточняются в процессе предварительных, государственных, ресурсных испытаний и в ходе опытной эксплуатации.

3.5.6. Программа обеспечения надежности разрабатывается в соответствии с ГОСТ РВ 27.1.02.

3.5.7 Требования к базовому шасси определяются в соответствии с ТУ на него с обеспечением отбора мощности (ДОМ) до 70 кВт.

3.6 Требования эргономики, обитаемости и технической эстетики

3.6.1 Кабина крановщика должна соответствовать требованиям ОТТ 2.1.1-2001 (часть 1 и 2), ГОСТ 12.3.032, ГОСТ 12.2.033, ГОСТ 21889, ГОСТ РВ 29.06.014, ГОСТ 22827.

3.6.2 Органы управления должны соответствовать требованиям ГОСТ В 22613, ГОСТ В 22614, ГОСТ В 22615.

3.6.3 Усилия на органах управления, Н, не более:

- на рычагах 60
- на педалях 120

3.6.4. Уровень звука и эквивалентный уровень звука в кабине крановщика, дБ, не более 80

3.6.5. Микроклимат на рабочем месте крановщика (ГОСТ Р 12.2.011):

- температура воздуха в теплый период года не должна превышать наружную более чем на 5 °С
- температура воздуха в холодный период года (при температуре наружного воздуха до минус 40 °С), не менее 14
- относительная влажность, % 40…60

3.6.6. Уровень вибрации, дБ, не более:

- сиденья крановщика и пола кабины при среднегеометрической частоте полос:

2-8 Гц 117

16-63 Гц 101

- на органах управления при среднегеометрической частоте полос

8-1000 Гц 112

- на рычагах 60

- на педалях 120

3.6.4. Уровень звука и эквивалентный уровень звука в кабине крановщика, дБ, не более 80

3.6.5. Микроклимат на рабочем месте крановщика (ГОСТ Р 12.2.011):

- температура воздуха в теплый период года не должна превышать наружную более чем на 5 °С

- температура воздуха в холодный период года (при температуре наружного воздуха до минус 40 °С), не менее 14

- относительная влажность, % 40…60

3.6.6. Уровень вибрации, дБ, не более:

- сиденья крановщика и пола кабины при среднегеометрической частоте полос:

2-8 Гц 117

16-63 Гц 101

- на органах управления при среднегеометрической частоте полос

8-1000 Гц 112

3.6.7. Уровень загазованности на рабочем месте крановщика, мг/м^3,

не более:

- концентрация СО 20

- концентрация NO_2 2

3.6.8. Уровень звука в рабочей зоне крана, дБ, не более 82

3.6.9. Требования эргономики и обитаемости проверяются на этапах предварительных и государственных испытаний.

3.7. Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта

3.7.1. Условия эксплуатации крана должны соответствовать требованиям настоящего ТЗ и «Инструкции по устройству и эксплуатации гусеничной машины повышенной проходимости с крановой установкой грузоподъемностью 16 т для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ (шифр «Кран КСГ – 16А»), утвержденной приказом МО РФ 2017 года № 000. (Далее – Инструкции).

3.7.2. Для крана устанавливаются следующие виды технического обслуживания:

при использовании:

- ежедневное техническое обслуживание (ЕТО);
- техническое обслуживание № 1 (ТО-1);
- техническое обслуживание № 2 (ТО-2);
- сезонное техническое обслуживание (СО);
- регламентированное техническое обслуживание (РТО);

при хранении:

- техническое обслуживание № 1 при хранении (ТО-1Х);
- техническое обслуживание № 2 при хранении (ТО-2Х);
- техническое обслуживание № 2 при хранении с переконсервацией и контрольным пробегом (ТО-2ХПКП);
- регламентированное техническое обслуживание (РТО).

3.7.3. Трудоемкость технических обслуживаний должна составлять, чел.ч., не более:

- контрольного осмотра (КО) – 0,3;
- ежедневного технического обслуживания (ЕТО) – 1;
- технического обслуживания № 1 (ТО-1) – 16;
- технического обслуживания № 2 (ТО-2) – 28;
- сезонного технического обслуживания (СО) –25;
- регламентированное технического обслуживания (РТО) – 200…210;
- технического обслуживания № 1 при хранении (ТО-1Х) – 7…8;
- технического обслуживания № 2 при хранении (ТО-2Х) – 13.

- технического обслуживания № 2 при хранении с переконсервацией и контрольным пробегом (ТО-2ХПКП) – 25.

Продолжительность всех видов технического обслуживания подтверждается на предварительных, государственных испытаниях и в ходе эксплуатации в Арктической зоне РФ.

3.7.4. Для крана устанавливаются следующие виды ремонта:

- текущий ремонт (ТР);
- капитальный ремонт (КР);
- регламентированный ремонт (РР).

3.7.5. Конструкция крана и его комплектация должны обеспечивать:

- проведение КО и ЕТО силами расчета;
- выполнение ТО-1, ТО-2, СО и ТР в условиях эксплуатации силами и средствами подразделений технического обслуживания и ремонта и с привлечением расчета;
- доступность к отдельным составным частям для выполнения ТО и ремонта с минимальным объемом демонтажных работ других составных частей.

3.7.6. Конструкция крана должна удовлетворять требованиям хранения на открытых площадках и под навесами в районах с умеренным климатом по классификации ГОСТ 15150.

Краны, использование которых не планируется на срок от одного месяца до одного года, должны быть поставлены на кратковременное хранение. Краны, использование которых не планируется на срок свыше одного года, должны быть поставлены на длительное хранение. Постановка на хранение должна проводиться в соответствии с Руководством «Хранение инженерной техники и инженерного имущества» и Руководством по эксплуатации.

3.7.7. Трудоемкость постановки крана на хранение и продолжительность снятия его с хранения определяется расчетным путем и уточняется на этапах предварительных, государственных испытаний и в ходе войсковой эксплуатации.

3.7.8. Организация и порядок хранения крана с проведением технического обслуживания и защиты при хранении должны соответствовать требованиям ГОСТ В20.39.104.

3.7.9. Для использования крана по назначению разрабатывается одиночный комплект ЗИП. Состав одиночного комплекта корректируется по результатам предварительных и государственных испытаний опытного образца.

3.8. Требования транспортабельности

3.8.1. Транспортирование крана должно соответствовать требованиям ГОСТ 22827, ГОСТ ВД 22827 и ОТТ 1.1.4.

3.8.2. Кран должен перевозиться железнодорожным транспортом на платформе с соблюдением требований к размещению и креплению грузов, установленных «Техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах», утвержденными МПС России 27.05.2003 г. № ЦМ-943.

Кран должен быть приспособлен к транспортированию железнодорожным транспортом с использованием универсальных многооборотных креплений типа УМК-ТК.

Схемы размещения и крепления крана на железнодорожной платформе разрабатываются и вносятся в эксплуатационную документацию на кран. При транспортировании допускается демонтаж кабины крановщика.

3.8.3. Фиксация рабочего оборудования в транспортном положении должна обеспечивать безопасность движения машины по дорогам при движении своим ходом, а также при транспортировании другими видами транспорта.

Погрузка (выгрузка) на железнодорожный подвижной состав, самолеты военно-транспортной авиации соответствующей грузоподъемности, на морской (речной) транспорт должна обеспечиваться своим ходом.

3.8.4. Кран должен быть приспособлен к транспортированию самолетами военно-транспортной авиации соответствующей грузоподъемности и морским (речным) транспортом.

3.8.5. В составе эксплуатационной документации должна быть предусмотрена инструкция по транспортированию железнодорожным, морским (речным) и воздушным транспортом, разработанная в соответствии с требованиями ОТТ 1.1.4 «Общие требования по транспортабельности железнодорожным, морским, речным и воздушным транспортом».

3.9. Требования безопасности

3.9.1. Кран должен отвечать требованиям безопасности ГОСТ Р 22.0.02 – 94. «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (БЧС). Термины и определения основных понятий. ГОСТ 22827, ГОСТ ВД 22827, Инструкции и МТТ СВ-81.

3.9.2. Кран должен быть оборудован устройствами и приборами безопасности серии ОНК-160 (или аналогичными), обеспечивающими безопасную работу, как с обычными, так и с опасными грузами.

3.9.3. Кран должен иметь устройство для автоматической остановки крановых механизмов при потере контроля за управлением со стороны машиниста при крановых операциях (ГОСТ ВД 22827).

3.9.4. Требования по экологической защите должны соответствовать требованиям ГОСТ 22827, ГОСТ 17.2.2.01.

3.10. Требования обеспечения режима секретности

Не предъявляются.

3.11. Требования защиты от иностранных технических разведок (ИТР)

Не предъявляются.

3.12. Требования стандартизации, унификации и каталогизации

Конструкция крана должна отвечать требованиям действующих стандартов, нормативно-технической документации. Должна обеспечиваться максимальная унификация крана по сборочным единицам, агрегатам и деталям с кранами производственно-технического назначения, выпускаемыми предприятием-изготовителем.

3.12.1. Требования стандартизации и унификации

3.12.1.1. Показатели уровня стандартизации и унификации крана должны соответствовать требованиям ГОСТ В 15.207:

- коэффициент применяемости по составным частям, %, не менее 70
- коэффициент повторяемости, не менее 2,5

3.12.1.2. Конструкции крана должны быть максимально унифицированы по сборочным единицам, узлам и деталям между собой и с базовой моделью крана производственно-технического назначения.

3.12.1.3. Экспертиза уровней стандартизации и унификации крана про-водится на этапе разработки рабочей конструкторской документации до приёмки её межведомственной комиссией.

3.12.2. Требования каталогизации

3.12.2.1. Каталогизация крана должна осуществляться в соответствии с порядком и правилами, установленными в ГОСТ Р 51721.1, ГОСТ РВ 51725.7 и ГОСТ РВ 15.201.

3.13. Требования технологичности

3.13.1. Разработка крана должна проводиться в соответствии с общими правилами обеспечения технологичности конструкций и номенклатурой показателей технологичности, установленными ГОСТ 14.201.

3.13.2. Конструкция крана должна быть технологичной, рассчитанной на возможность использования типового оборудования, оснастки, средств контроля и применения типовых технологических процессов при изготовлении.

3.14. Конструктивные требования

3.14.1. Конструкция крана должна отвечать требованиям ГОСТ 22827, ГОСТ ВД 22827, ГОСТ 22827ВД, Инструкции.

3.14.2. В конструкции крана должны быть предусмотрены:

- установка на время передвижения крана съемной защиты кабельного барабана на основание стрелы;

- возможность перевода крана из рабочего положения в транспортное (за время не более 45 минут) силами расчета из двух человек в случае выхода из строя двигателя шасси или элементов гидросистемы.

3.14.3. Конструкция крана должна обеспечивать:

- работу в зоне 360° (возможность работы перед кабиной базового шасси);

- работу на втянутых опорах на рабочей площадке с углом наклона в пределах ±3°;

- работу без выносных опор;

- возможность передвижения с грузом на крюке основной стрелы по рабочей площадке с углом наклона в направлении движения в пределах ±3°;

- защиту блоков на оголовке стрелы от повреждения (при отсутствии защитных элементов в базовой конструкции крана);

- возможность подключения к крану войсковых средств дезактивации, дегазации, дезинфекции и прибора ночного видения;

- подключение электрооборудования съемных частей крана с помощью штепсельных разъемов.

3.14.4. Механизмы подъема груза (лебедка) и изменения вылета (изменения угла наклона стрелы и телескопирования) должны быть оборудованы двумя тормозами для работы с опасными грузами в соответствии с требованиями п.3.2.2 ГОСТ ВД 22827.

3.14.5. Телескопическая трехсекционная стрела должна быть «овоидного» профиля.

3.14.6. Кран должен быть оборудован необходимым количеством освети-тельных приборов для освещения груза и зоны работы в темное время суток, в том числе и фарой-искателем, управляемой из кабины крановщика.

3.14.7. Крепление крюковой подвески должно осуществляться на бампере переднего звена базового шасси.

3.14.8. Габаритные размеры крана в транспортном положении, мм, не более:

- длина – 10 300;
- ширина – 2 550;
- высота – 3 750.

4. Технико-экономические требования

4.1. Технико-экономическое обоснование должно быть проведено на стадии разработки рабочей конструкторской документации и уточнено на стадии доработки рабочей документации по результатам государственных испытаний.

4.2. В качестве аналогов при проведении технико-экономического обоснования могут быть приняты автомобильный кран военного назначения – КС-45719-3М грузоподъемностью 16 тонн на шасси КАМАЗ-6560 и опытный образец четырех-гусеничной машины повышенной проходимости ТС АГП с крановой установкой с максимальной высотой подъема груза 22 м.

5. Требования к видам обеспечения

5.1. Требования к нормативно-техническому обеспечению

5.1.1. Отчётная документация, представляемая по этапам работ, должна соответствовать требованиям ГОСТ РВ 15.110, ГОСТ РВ 15.203 и ГОСТ 2.902.

5.1.2. Работы по нормативно-техническому обеспечению должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 50934.

5.2. Требования к метрологическому обеспечению

5.2.1. Метрологическое обеспечение должно соответствовать требованиям ГОСТ РВ 1.1 и ОТТ 1.1.7.

5.2.2. Средства измерений по стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействиям должны удовлетворять требованиям ГОСТ РВ 20.39.301, ГОСТ РВ 20.39.304.

5.2.3. Средства для измерения линейных размеров должны удовлетворять требованиям ГОСТ 8.051.

Средства измерения массы должны иметь погрешность не более $\pm$ 1 %.

5.2.4. Средства измерения параметров, не оговоренные специально, должны иметь погрешность не более:

- имеющие указания о допусках – 1/3 поля допуска;
- не имеющие указания о допусках – $\pm$ 2 %.

5.2.5. Срок службы применяемых на кране средств измерения должен быть не менее срока службы машины до капитального ремонта.

5.2.6. Средства и методы измерений эргономических показателей по РД 22-20 и РД 22-32.

5.2.7. Средства измерений должны быть приспособлены для их периодического метрологического обслуживания лабораториями измерительной техники Министерства обороны.

5.2.8. К средствам измерения, входящим в состав оборудования крана, должен быть обеспечен доступ для проверки и регулировки без их демонтажа или предусмотрено снятие этих средств для проведения метрологического обслуживания.

5.3. Требования к диагностическому обеспечению

5.3.1. Контролю и диагностированию подлежат параметры систем и агрегатов базового шасси в объёме, предусмотренном для аналогичных изделий.

5.3.2. Встроенные в конструкцию гидросистемы и рабочего оборудования крана средства технического диагностирования (технического состояния) должны обеспечивать измерение и индикацию:

- величины давления и температуры рабочей жидкости в гидросистеме;
- засорения сливных фильтров очистки рабочей жидкости в гидросистеме;
- уровня рабочей жидкости в гидросистеме.

5.4. Требования к математическому, программному и информационно-лингвистическому обеспечению не предъявляются.

6. Требования к сырью, материалам и комплектующим изделиям межотраслевого применения.

6.1. Материалы, комплектующие и покупные изделия, применяемые для изготовления и эксплуатации крана, должны быть отечественного производства.

Применение иностранных материалов и комплектующих изделий должно быть обосновано, оформлено установленным порядком в соответствии с приказом МО РФ 2012 г. № 1555 дсп.

6.2. Все комплектующие изделия по уровню гарантии, ресурсу, безотказности и своим техническим характеристикам должны соответствовать характеристикам машины в целом.

6.3. Топлива, масла, смазочные материалы и специальные жидкости, используемые в изделии, должны соответствовать ГОСТ РВ 50920.

В документации должны быть предусмотрены дублирующие марки масел, смазок и специальных жидкостей.

6.4. На кран должна быть разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 25549 химмотологическая карта.

6.5. Покупные изделия, детали и материалы должны соответствовать чертежам и техническим условиям заводов-поставщиков и подвергаться входному контролю на заводе-изготовителе машины. При отсутствии у заводов-поставщиков покупных комплектующих технических условий на свою продукцию допускается её применение в составе машины, если все необходимые технические требования к изготовлению, испытаниям, приемке

продукции по качеству и гарантийные обязательства содержатся в договоре (контракте) на поставку.

6.6. Не указанные в данном разделе требования должны соответствовать требованиям ГОСТ ВД 22827.Краны стреловые самоходные общего назначения. Технические условия.

7. Требования к консервации, упаковке и маркировке

7.1. Конструкция крана должна обеспечивать возможность его консервации методом «Заклейка» с использованием оборудования пунктов технического обслуживания и ремонта и передвижного пункта консервации материалами, определёнными в руководстве «Хранение инженерной техники и инженерного имущества».

7.2. Сборочные единицы и детали, поставляемые в запасные части, должны быть законсервированы.

Консервация ЗИП должна обеспечивать их сохраняемость под навесами без переконсервации в течение не менее 5 лет.

7.3. Требования к консервации, упаковке и маркировке должны удовлетворять требованиям хранения на спецплощадках на открытом воздухе с навесами, а также требованиям ГОСТ 9.014, ГОСТ ВД 9.014 и ГОСТ В 9.001.

7.4. Варианты упаковки и требования к ней должны соответствовать ГОСТ В 9.001.

7.5. Во время транспортирования по железной дороге снятая кабина должна устанавливаться на деревянные подкладки, остекление кабины должно закрываться жёсткими щитками.

7.6. Внутреннее оборудование кабины, расположенное на поворотной платформе крана, должно надёжно укрываться и опломбироваться.

7.7. Маркировка крана должна выполняться по ГОСТ 2.314, а транспортной тары – по ГОСТ 14192.

7.8. Консервация и расконсервация кранов должна обеспечиваться с применением средств и методов, установленных ГОСТ В 9.003.

7.9. Порядок маркировки деталей и сборочных единиц должен быть указан в конструкторской документации.

8. Требования к учебно-тренировочным средствам

8.1. Перечень учебных плакатов, обеспечивающих возможность изучения устройства крана, а также формирования профессиональных навыков работы, его технического обслуживания и ремонта, утверждается заказчиком до окончания государственных испытаний.

8.2. Учебные плакаты, согласно перечня, утвержденного Заказчиком, разрабатываются в электронном виде и передаются Заказчику на магнитном (оптическом) носителе.

Содержание плакатов должно обеспечивать возможность изучения устройства машины, порядка проведения технического обслуживания, основных регулировок, мер безопасности при эксплуатации машины и организации работ при выполнении грузоподъемных работ.

9. Специальные требования

9.1. Программы и методики предварительных и государственных испытаний опытного образца разрабатываются в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.211, ГОСТ РВ 15.210.

9.2. В НТУ МЧС России представляются для согласования следующие документы:

- технические условия;

- программы и методики предварительных, государственных, периодических и типовых испытаний;

- раздел «Техническое освидетельствование» руководства по эксплуатации либо «Инструкция по техническому освидетельствованию».

10. Требования защиты государственной и коммерческой тайн при выполнении работ

10.1. Работы по созданию крана не должны содержать сведений, составляющих государственную и военную тайну.

10.2 Ознакомление организаций МЧС России и их представителей с материалами работы производится по разрешению Заказчика.

11. Требования к порядку разработки конструкторской документации на военное время

Разработка документации на особый период проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 22827 ВД по отдельному договору.

12. Этапы выполнения работы. Этапы и сроки выполнения настоящей работы определяются Заявкой – обоснованием и Техническим заданием на НИОКР, проходящих согласование в МЧС России для включения в «План научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2017 год и на плановый период 2018 и 2019 годов».

Выполнение работы должно включать следующие этапы:

№ п/п	Наименование этапа	Документация	Срок выполнения
1	Разработка рабочей конструкторской документации для изготовления опытного образца	Рабочая конструкторская документация	Определяется Заявкой-обосно-ванием на НИОКР
2	Изготовление опытного образца и проведение предварительных испытаний	Опытный образец. Протоколы и акты испытаний	Определяется Заявкой-обосно-ванием на НИОКР
3	Проведение государственных испытаний	Программа и методика государственных испытаний. Протоколы и акты государственных испытаний.	Определяется Заявкой-обосно-ванием на НИОКР
4	Утверждение рабочей конструкторской документации	Комплект РКД, ЭД и ТД	Определяется Заявкой-обосно-ванием на НИОКР

13. Порядок выполнения и приемки этапов работы

13.1 Закрытие каждого этапа инициативной опытно-конструкторской работы оформляется в соответствии с ГОСТ РВ 15.203.

13.2 Состав, комплектность, перечень рассылки отчётной документации, представляемой по этапам и всей работы в целом, определяются актом приемки.

13.3 Изготовлению подлежит один опытный образец крана (гусеничной машины повышенной проходимости с крановой установкой грузоподъемностью 16 т для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ) на шасси ТСГ или ТСК.

13.4 Испытания опытного образца крана проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.210.

13.5 Порядок проверки, согласования и утверждения конструкторской документации по ГОСТ 2.902.

13.6 Конструкторская документация должна быть разработана в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Качество разработанной конструкторской документации должно обеспечивать ее пригодность к репрографии в соответствии с ГОСТ 13.1.002.

13.7 Гарантийные обязательства устанавливаются в соответствии с ГОСТ В 15.306.

13.8 Изменения в утверждённое ТЗ должны разрабатываться, согла-совываться и

утверждаться в том же порядке и на том же уровне, что и основной документ.

1 Обоснование технологии работы и параметров валочно-пакетирующей машины **«Дятел-1»** для рубок ухода с манипулятором на базе шасси **«Беларусь-52»**. (Дипломный проект на преддипломной практике в ЛатНИИЛХП и заводе «Ригалесмаш». Руководитель проекта проф. д.т.н. Орлов Сергей Федорович, руководитель практики проф. д.т.н. Иевинь Имант Карлович).**1964-1965 гг.**

2 **Валочно-пакетирующая машина «Дятел-1»** на шасси МТЗ-80 (МТЗ-82). Мощность двигателя – 58,8 кВт (80 л.с.) Максимальный диаметр срезаемого дерева - 180 мм Вылет манипулятора 5,0 м. Угол поворота манипулятора 173 град. Эксплуатационная масса - 3 600 кг Машина для выполнения рубок ухода (создание первой в мировой практике ВПМ манипуляторного типа, организация выпуска установочной серии машин на заводе «Ригалесмаш», организация эксплуатации машин).**1964-1970.**

3 Валочно-транспортная машина «Дятел-1Д» для выполнения рубок ухода с транспортированием пачки деревьев после пакетирования на завод для получения хвойно-витаминной муки и другой лесопродукции. 1966-1970.

4 Валочно-рубительная машина «Дятел-1ВР» для выполнения рубок ухода (осветление, первые стадии прочисток) с разбрасыванием мелкой рубленной фракции деревьев на лесосеке между технологическими коридорами для удобрения лесосеки. 1967-1968.

5 Валочно-пакетирующая машина ЛП-2 для выполнения рубок главного пользования и рубок ухода (серийное производство на Великолукском заводе «Торфмаш»). Подготовка операторов машин ЛП-2, ТБ-1, ЛП-89, ЛП-30Б. Внедрение систем машин в леспромхозах объединений Архангельсклеспром", «Кареллеспром», «Комилеспром», "Костромалеспром", комбината «Ленлес», Минлеспрома ЭССР. 1972-1978.

6 Валочно-трелевочная машина ЛП-17 для выполнения рубок главного пользования с частичным сохранением и без сохранения подроста (серийное производство на Сыктывкарском механическом заводе). Подготовка операторов машин ЛП-17, ТБ-1, ЛП-89, ЛП-30Б. Внедрение систем машин в леспромхозах объединений Архангельсклеспром

7 Валочно-трелевочная машина - ЛП-17А

Мощность двигателя - 58,8 кВт (100 л.с.).Макс.диаметр срезаемого дерева - 650 мм

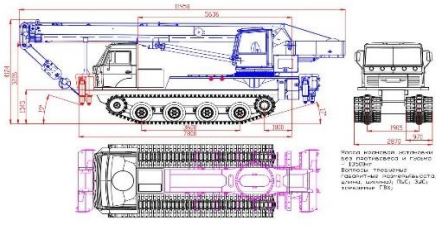
Вылет манипулятора - 5 м Эксплуатационная масса – 13 500 кг (Транспортное средство повышенной проходимости. Кушляев В.Ф., Гомонай М.В., Ильин А.И., Аграновский А.А., Хмелев А.С., Цыган И.И. Патент на изобретение RU 2683917 C1, 02.04.2019. Заявка № 2018113494 от 13.04.2018.)

8. Валочно-трелевочная машинаЛП-49 для рубок главного пользования Мощность двигателя - 88,3 кВт (120 л.с.).Максимальный диаметр срезаемого дерева - 650 мм Вылет манипулятора 5,0 м. Эксплуатационна масса - 17 300 кг. Разработано и изготовлено 4 опытных образца. Один на ТТ-4М финской фирмой Valmet, два на ТТ-4М и ЛП-18.

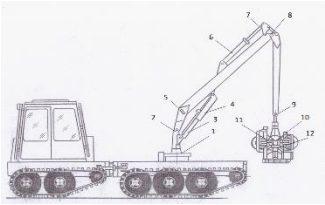
9 Валочно-трелевочная машина ЛП-50 (генеральная модернизация машины ЛП-2, шасси ТЛТ-100 завод ОТЗ - Петрозаводск, манмпулятор, рабочий орган – Великолукский завод «Торфмаш»), для выполнения рубок главного пользования с сохранением и без сохранения подроста (серийное производство планировалось на Великолукском заводе «Торфмаш» взамен ЛП-2). Мощность двигателя - 95,6 кВт (130 л.с.).Максимальный диаметр срезаемого дерева - 650 мм Вылет манипулятора 5,0 м. Эксплуатацяяонная масса - 13 700 кг. Разработано и изготовлено 1 опытный обраец. 1977-1979.

10. Четырех-гусеничная машина повышенной проходимости с крановой установкой грузоподъемностью 16 т для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в Арктической зоне РФ (Аналог).

11. Двух-гусеничная машина повышенной проходимости с крановой установкой грузоподъемностью 16 т для проведения аварийно-спасательных и других неотложных
работ в Арктической зоне РФ (Аналог).



12 Валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочная машина с окоркой деревьев на лесосеке предназначена для безопасной заготовки и утилизации древесины, зараженной радиацией, опасных сухостойных, изъеденных короедом и обгорелых деревьев (Ззаявка в Роспатент на выдачу патента «Способ выработки окоренных сортиментов и рабочий орган для его осуществления» № 20251058993/20(015470) от 13.03.25.



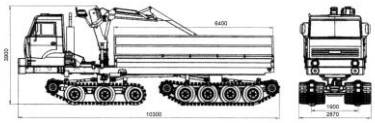
13 Инженерная машина разграждения-3М (ИМР-3М).

14 Аварийно-спасательная машина повышенной проходимости модульного принципа компоновки (сменные модули контейнерного типа: аварийно-спасательные, поисково-спасательные, пожарно-спасательные и др.) с погрузочно-разгрузочным механизмом (мультилифт) на базе шарнирно-сочлененного гусеничного транспортера ДТ-10ПМ, производства АО «МК «Витязь».

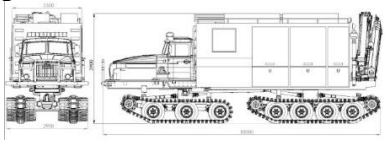
15. Пожарно - спасательная машина повышенной проходимости модульного принципа компоновки ДТП – 3ПСА (сменные модули контейнерного типа: пожарно - спасательные, командно - штабные, поисково – спасательные, медицинские,) с погрузочно- разгрузочным механизмом (мультилифт) на базе трансп. ДТ-3ПМ, завода АО «МК «Витязь

16 Компоновочная схема транспортно-технологической машины «форвардер» ТСК-Ф75 на базе гусеничного двухзвенного шасси ТСК, с манипулятором и грейферным (клещевым) захватом, расположенными над задним звеном шасси.

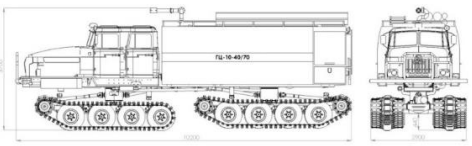
17 Машина - гусеничный самосвал ТСК-6400-Ф75 на шасси транспортера-снегоболотохода ТСК с манипулятором и грейферным захватом. завода ООО «ЕЗСМ «Континент»



18 Аварийно-спасательная машина АСМ-20-06 (мод.ТС) гусеничная на шасси двухзвенного сочлененного с помощью специальной рамы снегоболотохода с манипулятором завода ООО «ЕЗСМ «Континент»



19 Цистерна пожарная ПЦ-10-40/70 (ТС-15) завода ООО «ЕЗСМ «Континент»»



20 Валочно-сучкорезно-раскряжевочная и погрузочно-транспортная машины разработанные и изготовленные финскими машиностроителями Рантапуу, Марку Мякеля, Терратек. с использованием узлов и систем серийных тракторов Минского тракторного завода

22 Погрузочно-транспортная машина, разработанная и изготовленная финскими машиностроителями Рантапуу, Марку Мякеля, Терратек с использованием узлов и систем серийных моделей тракторов Минского тракторного завода.

Список литературы

1. Павлов В.В. Моделирование процессов технического обслуживания технологических машин лесопромышленного комплекса // В.В. Павлов, А.Т. Гурьев, Е.А. Деменкова. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. №4. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2008. –С.141-146.

2. Обоснование облика гусеничных машин повышенной проходимости, предназначенных для решения задач МЧС. Отчет НИР. Договор № 13 от 25.02.2014 г. Заказчик ООО «ЕЗСМ «Континент». Науч. рук. Кушляев В.Ф. Ответ. исп. Кушляев В.Ф., Аграновский А.А., Гомонай М.В., Малышев В.А., Стасишин Л.А., Иванов В.А., Буровенцева О.А., Игнатьева А.В. Леонов В.А. Химки: ФГБОУ ВО «АГЗ МЧС России». – 2014 – 127 с. УДК 629.3.032.26. Инв. № 3124К.

3 Гурьев А.Т. К обоснованию системы управления и обеспечения комплексной безопасности транспортных потоков и технологических процессов арктических территорий / А.Т.Гурьев, В.Ф.Кушляев В.Ф. «Актуальные научно-технические проблемы развития и эксплуатации транспортно-технологических машин МЧС России». Сборник материалов XXV юбилейной Межд. НПК «Предупреждение. Спасение. Помощь». Химки: ФГБОУ ВПО «АГЗ МЧС России». – 2015 – С. 60 – 63.

4. Леонов В.А. Гусеничные машины повышенной проходимости для арктических условий// В.А. Леонов, В.Ф. Кушляев, В.Г. Полевой, А.А. Аграновский. Сборник материалов круглого стола на тему: «Приоритеты реализации государственной программы вооружения на 2018-2025 годы для спасательных воинских формирований МЧС России». Международный военно-технический форум «Армия – 2016». Химки: ФГБВОУ ВО «АГЗ МЧС России». – 2016 – С. 44 – 50.

5. Разработка крана грузоподъемностью до 25 тонн для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ. Отчет НИР № 77/5-ПУ. Заказчик АО «Галичский автокрановый завод». Науч. рук. Кушляев В.Ф. Ответ. исп. Кушляев В.Ф., Аграновский А.А., Гомонай М.В., Малышев В.А., Стасишин Л.А., Гладкоскок С.С., Хмелев А.С., Цыган И.И., Петров Г.К., Онешко С.А., Леонов В.А. Химки: ФГБОУ ВО «АГЗ МЧС России». – 2016 – 120 с. Инв. № 3388К/1.

6. Транспортное средство повышенной проходимости. Кушляев В.Ф., Гомонай М.В., Ильин А.И., Аграновский А.А., Хмелев А.С., Цыган И.И. Патент на изобретение RU 2683917 C1, 02.04.2019. Заявка № 2018113494 от 13.04.2018.

7. Кушляев В.Ф. Технические требования на опытный образец поисково-спасательной машины на шасси АО «Брянский автомобильный завод/ В.Ф. Кушляев, А.А. Аграновский, Р.М. Галимуллин, А.Б. Сдобнов, С.Е. Ильюхин, Н.А. Находкин. Комплексные проблемы техносферной безопасности. Задачи, технологии и решения комплексной безопасности: сборник статей по материалам XV Междунар. науч.- практ. конф.; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». − Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. Ч. 1. − 246 с. С.83 – 90.

8. Кушляев В.Ф. Структурное моделирование процессов жизненного цикла транспортно- технологических машин для чрезвычайных ситуаций//В.Ф. Кушляев, А.Т. Гурьев, Е.А. Деменкова, И.С. Васендина. Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 16 апреля 2020 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – 473 с. С.222 – 229. – ISBN 978-5-6042853-4-3

9. Разработка рекомендаций по совершенствованию системы технического облуживания и ремонта парка пожарных аварийно-спасательных автомобилей и оборудования учреждения «Витебское областное управление МЧС Республики Беларусь». Магистерская диссертация. Поясн. записка. Слушатель, майор ФПИС 682 уч. гр. Остапчук Д.М. Науч. рук. Кушляев В.Ф. Химки: ФГБОУ ВО «АГЗ МЧС России». – 2020 – 124 с.

10. Кушляев В.Ф. Транспортно-технологические машины повышенной проходимости для условий Арктической зоны Российской Федерации// В.Ф. Кушляев, А.А. Аграновский, Д.В. Кушляев. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидации Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь. Минск. 2021. № 2 (50). С.139-163. УДК:629.017,656.5,69.0.57. ISSN:1994-439X. Научно-технический журнал: Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация.. DOI:https://doi.org/10.54422/1994439X.2021.-50.139-

11. Технология и система машин с окоркой деревьев на лесосеке для безопасной заготовки и утилизации древесины, зараженной радиацией, опасных сухостойных, изъеденных короедом и обгорелых деревьев / В.Ф. Кушляев, А.Ю. Асламов, Д.В. Курчин, О.В. Кушляева, Д.В. Кушляев, В.А. Леонов, А.И. Ильин, Таричко В.В., А.Б. Сдобнов // Конкурсная работа АГЗ МЧС России, представленная на конкурс работ МЧС России «Есть идея-2021» 10 декабря 2021 г. Химки. Объем 98 стр. с рис. и табл. Научн. рук. доц. каф. эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов, к.т.н., с.н.с. Кушляев В.Ф.

12. Ильин А.И. Технические требования к аварийно-спасательной машине на шасси АО «МК «Витязь» для применения в чрезвычайных ситуациях Арктической зоны Российской Федерации//А.И. Ильин, В.Ф. Кушляев, А.А. Аграновский. Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XV Межд. НПК, посвященной 30-й годовщине МЧС России, Иваново, 17–18 ноября 2020 г. – Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – 577 с. С.194 – 198. ISBN 978-5-907353-01-5.

13. Кушляев В.Ф. Информационные технологии и методики, применяемые при создании и эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов / В.Ф. Кушляев, А.Т. Гурьев, И.С. Васендина, О.В. Кушляева / Сборник докладов XVII Международная научно-практическая конференция «Комплексные проблемы техносферной безопасности» - ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». - 26 марта 2021 г. Ч.II. Воронеж. С.340-349. eLIBRARY ID: 46640571 EDN: BINCPN

14. Кушляев В.Ф. Система машин и модель оценки производительности основной машины для разрубки противопожарных просек и обработки деревьев после лесных пожаров//В.Ф. Кушляев, Д.В. Кушляев, О.В. Кушляева, А.Д. Созы, М.А. Зеленов, А.К. Брагин. Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: сборник материалов Дней науки с международным участием, 6-10 декабря 2021 г. – Екатеринбург: ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России, 2022. Ч.1. – 2022. – 295 с. С. 142 – 152. ISBN 978-5-917764-096-6 (Ч.1)

References

1. V. Pavlov.V.V. Pavlov, A. N.N. Guryev, E.A. Demenkova, Modeling of maintenance processes of technological machines of the timber industry complex. Scientific and technical bulletin of SPbGPU. Computer science. Telecommunications. Management. No. 4. - St. Petersburg,: Polytechnic University Publishing House, 2008. -pp.141-146.

2. Justification of the field of off-road tracked vehicles designed to solve the tasks of the Ministry of Emergency Situations. Reporting research. Contract No. 13 dated 02/25/2014. The customer is EZSM LLCThe continent." Scientific supervisor V. Kushlyaev.F. Response. performed by V. Kushlyaev.F., Agranovsky A. N.A., Gomonai M.V., Malyshev V.A.,Stasishin L.A., Ivanov V.A., O. Buroventseva.A., Ignatieva A.V. V. Leonov.A. Khimki: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia". - 2014-127 p UDC 629.3.032.26. Inv. No. 3124k.

3 Guryev A. A.N. On the substantiation of the management system and ensuring integrated safety of transport flows and technological processes in the Arctic territories / A.N.Guryev, V.N.F.V. Kushlyaev, F. "Actual scientific and technical problems of development and operation of transport and technological machines of the Ministry of Emergency Situations of Russia". Collection of materials of the XXV Anniversary International Conference. NPC "Warning. Salvation. Help." Khimki: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia". - 2015. 60 – 63.

4. V. Leonov.A. Off-road tracked vehicles for Arctic conditions// V.A. Leonov, V. N.F. Kushlyaev, V. N.G. Polevoy, A. N.A. Agranovskiy. A collection of materials from the round table on the topic: "Priorities for the implementation of the state armament program for 2018-2025 for rescue military units of the Russian Emergencies Ministry." The International Military–technical Forum "Army-2016". Khimki: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia". - 2016-E. 44-50.

5. Development of a crane with a lifting capacity of up to 25 tons for emergency rescue and other urgent work. Research report No. 77/5-PU. Customer JSC"Galich truck Crane Plant". Scientific supervisor V. Kushlyaev.F. Response. performed by V. Kushlyaev.F., Agranovsky A. N.A., Gomonai M.V., Malyshev V.A.,Stasishin L.A., Gladkoskok S.S., Khmelev A.S., Tsygan I.I. G. Petrov.K., S. Oneshko.A., Leonov V.A. Khimki: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia". - 2016-120 p. Inv. No. 3388k/1.

6. Off-road vehicle. V. Kushlyaev.F., Gomonai M.V., Ilyin A.I., Agranovsky A. N.A., Khmelev A.S., Tsygan I.I. Patent for invention RU 2683917 C1, 04/02/2019. Application No. 2018113494 dated 04/13/2018.

7. V. Kushlyaev.F. Technical requirements for a prototype search and rescue vehicle on the chassis of Bryansk Automobile Plant JSC/ V. I. Kalinin, F. Kushlyaev, A. N.A. Agranovsky, N.M. Galimullin, A.P. Sdobnov, S. N.E. Ilyukhin, N.A. Nakhodkin. Complex problems of technosphere security. Tasks, technologies and solutions for integrated security: a collection of articles based on the materials of the XV International Scientific- practical conference; FSBEI he"Voronezh State Technical University". Voronezh: vgtu Publishing House, 2019. Part 1. 246 p. 83-90.

8. V. Kushlyaev, F. Structural modeling of life cycle processes of transport and technological machines for emergency situations//V.F. Kushlyaev, A. N.N. Guryev, E.A.

Demenkova, Named after S. Vasendin. Reliability and durability of machines and mechanisms: collection of materials of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference, Ivanovo, April 16, 2020 -Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020. - 473 p. pp.222-229. – ISBN 978-5-6042853-4-3

9. Development of recommendations for improving the system of maintenance and repair of the fleet of fire rescue vehicles and equipment of the Vitebsk Regional Department of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus. Master's thesis. Explained. a note. Student, Major of FPIS 682, professor D. Ostapchuk, M. Scientific supervisor V. Kushlyaev.F. Khimki: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia". - 2020-124 p

10. V. Kushlyaev.F. Transport and technological off-road vehicles for the conditions of the Arctic zone of the Russian Federation// V.F. Kushlyaev, A. N.A. Agranovsky, N.V. Kushlyaev. Emergency situations: Scientific Research Institute of Fire Safety and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus. Minsk. 2021. No. 2 (50). pp.139-163. UDC: 629.017,656.5,69.0.57. ISSN:1994-439X. Scientific and Technical Journal: Emergency situations: prevention and elimination.. DOI:https://doi.org/10.54422/1994439X.2021.-50.139-

11. Technology and system of machines with tree felling in the cutting area for the safe harvesting and disposal of radiation-contaminated, dangerous dry-standing, bark beetle-removed and burnt trees / V. V. Goncharov.F. Kushlyaev, A. N.Yu. Aslamov, D. N.V. Kurchin,O.V. Kushlyaeva, D. N.V. Kushlyaev, V. N.A. Leonov, A. N.I. Ilyin, V. Tarichko.V., Issue of P. Sdobnov / / The competitive work of the AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia, submitted to the competition of works of the Ministry of Emergency Situations of Russia "There is an idea-2021" on December 10, 2021, Khimki. Volume 98 pages with fig. and table. Scientific supervisor, Associate Professor, Department of Operation of Transport and technological machines and complexes, Candidate of Scientific Sciences, issue N.S. V. Kushlyaev.F.

12. A. Ilyin.I. Technical requirements for an emergency rescue vehicle on the chassis of JSC MK Vityaz for use in emergency situations in the Arctic zone of the Russian Federation//A.I. Ilyin, V. N.F. Kushlyaev, A. N.A. Agranovsky. Fire and emergency safety: collection of materials XV International. NPC dedicated to the 30th anniversary of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ivanovo, November 17-18, 2020 - Ivanovo : Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020. - 577 p. pp.194-198. ISBN 978-5-907353-01-5.

13. V. Kushlyaev.F. Information technologies and techniques used in the creation and operation of transport and technological machines and complexes / V. I. Lenin.F. Kushlyaev, A. N.N. Guryev, I. N.S. Vasendina, O.V. Kushlyaeva / Collection of reports of the XVII International Scientific and Practical Conference "Complex problems of technosphere safety" - FSBEI VO "Voronezh State Technical University". - March 26, 2021 Part II. Voronezh. pp.340-349. eLibrary ID: 46640571 EDN: BINCPN

14. V. Kushlyaev.F. A system of machines and models for evaluating the performance of basic machines for cutting fire-fighting clearings and processing trees after forest fires//V. I. Lenin.F. Kushlyaev, D. N.V. Kushlyaev, N.V. Kushlyaeva, A. N.D. Sozi, M.A. Zelenov, A. N.K. Bragin. Actual problems and innovations in security: collection of materials of the Science Day with International Participation, December 6-10, 2021 - Yekaterinburg: Ural Institute of Gps of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022. Part 1. – 2022. - 295 p. p. 142 – 152. ISBN 978-5-917764-096-6 (Part 1)

DOI: 10.58168/Forestry2025_597-612
УДК 629.373

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И КОМПЛЕКС МАШИН С ОКОРКОЙ ДЕРЕВЬЕВ НА ЛЕСОСЕКЕ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ СУХОСТОЙНОЙ, ПОСЛЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ, ЗАРАЖЕННОЙ РАДИАЦИЕЙ

В.Ф. Кушляев
к.т.н., с.н.с. Генеральный директор НТЦ ЗАО «Машлес», доцент «Кафедра эксплуатации транспортно – технологических машин и комплексов»
Д.В. Кушляев
инженер, старший научный сотрудник НТЦ АО «Мащлес».
О.В. Кушляева
инженер, старший научный сотрудник НТЦ АО «Мащлес»

Аннотация: в статье представлены базовые и перспективный технологические процессы заготовки леса с окоркой деревьев на лесосеке, при заготовке древесины после лесных пожаров (расчистка горельников), сухостойной, изъеденной короедом, зараженной радиацией, даются технические требования на валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочную машину, рассматриваются основные положения и параметры машин при базовой и перспективной технологии. Оформлена заявка в Роспатент на выдачу патента «Способ выработки окоренных сортиментов и рабочий орган для его осуществления» № 20251058993/20(015470) от 13.03.2025.

Ключевые слова: комплекс машин, технологический процесс, окорка деревьев, лесосека**,** древесина, зараженная радиацией, деревья, изъеденные короедом и сухостойные, расчистка горельников.

THE TECHNOLOGICAL PROCESS AND COMPLEX OF MACHINES WITH THE DEBARKING OF TREES IN THE CUTTING AREA FOR HARVESTING DRY WOOD, AFTER FOREST FIRES, CONTAMINATED WITH RADIATION

V.F. Kushlyaev
, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, General Director of the Scientific and Technical Center of Mashles CJSC, Associate Professor of the Department of Operation of Transport and Technological Machines and Complexes,
D.V. Kushlyaev,
Engineer, Senior Researcher at the Scientific and Technical Center of Mashles JSC.
O.V. Kushlyaeva,
engineer, Senior Researcher at the Scientific and Technical Center of Mashles JSC

Abstract: the article presents the basic and promising technological processes of logging with the debarking of trees in a cutting area, when harvesting wood after forest fires (clearing of fire pits), dry-resistant, bark beetle-eaten, contaminated with radiation, technical requirements for a felling-knot-cutting-debarking machine are given, the main provisions and parameters of machines for basic and prospective technology. An application for a patent "A method for producing rooted sortings and a working body for its implementation" has been filed.

Keywords: complex of machines, technological process, debarking of trees, cutting area, wood contaminated with radiation, bark beetle-eaten and dry-resistant trees, clearing of gorelnik.

Исследованием и разработкой технологических процессов, систем и комплексов машин с гидроманипулятором в период 1963 -2013 с участием Кушляева В.Ф. занимались ЛатНИИЛХП — Рига, Лесотехническая академия им. С.М. Кирова — Ленинград (С._Петербург), Белорусский

© Кушляев В. Ф., Кушляев Д. В., Кушляева О. В., 2025

технологический институт им. С. М. Кирова. — Минск, ЦНИИМЭ. — Химки, ЦНТОлеспром. — Москва, НТЦ АО «Машлес». — Москва [1, 3-8, 9, 10-15, 16, 17-21, 22-34].

В 2013 – 2023 гг. в АО «Машлес» и ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России» силами сотрудников, студентов, курсантов, слушателей-офицеров были разработаны технологический процесс и технические требования на системы машин, изготовлены отдельные образцы машин, обеспечивающие окорку деревьев на лесосеке при заготовке древесины после лесных пожаров, зараженных радиацией, а также сухостойных и изъеденных короедом деревьев [1 - 4 , 13-21, 22-27].

Технологический процесс и комплекс машин с окоркой деревьев на лесосеке при безопасной заготовке древесины после лесных пожаров, зараженной радиацией, опасной сухостойной и изъеденной короедом.

1. Технология и система машин с окоркой деревьев на лесосеке для безопасной заготовки древесины после лесных пожаров (расчистка горельников),

2. Оценка сухостойных и зараженных короедом лесонасаждений Московской области.

3. Технология и система машин с окоркой деревьев на лесосеке для безопасной заготовки и утилизации древесины, зараженной радиацией (лесонасаждения, зараженные радиацией) [1 - 4, 15, 16, 21-23, 25, 27].

1. **Технология и система машин с окоркой деревьев на лесосеке для безопасной заготовки древесины после лесных пожаров ((расчистка горельников),**

Президентом Российской Федерации в июне 2022 года подписан Указ № 382 «О мерах по сокращению площади лесных пожаров в Российской Федерации», которым закреплены целевые показатели по сокращению площадей лесных пожаров и по ликвидации лесных пожаров в течение первых суток после обнаружения. В целях реализации Указа Советом по вопросам развития лесного комплекса Российской Федерации при Совете Федерации, Минприроды России совместно с Рослесхозом, отраслевыми научными организациями ведется активная работа по разработке практических мер повышения эффективности тушения лесных пожаров и оснащенности субъектов Российской Федерации высокотехнологичными образцами специальной противопожарной техники [1 - 4].

Так, в декабре 2022 года в рамках заседания Совета по вопросам развития лесного комплекса Российской Федерации при Совете Федерации принято решение об инициировании разработки и создания системного проекта единой системы связи в лесном комплексе в рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и национального проекта «Экология».

«Вопросы оснащения лесопожарных подразделений субъектов Российской Федерации, Рослесхоза, в частности ФБУ «Авиалесоохрана» невозможно решать без участия ключевых разработчиков специальной техники в нашей стране, в том числе организаций МЧС России и оборонно – промышленного комплекса. – как было отмечено на одной из конференций ФБУ ВНИИЛМ.[1 - 4].

Средняя площадь пожаров в лесу в 2022 г. составила 307 га: к 24 августа произошло 10 795 бедствий, которые затронули 3,32 млн га лесных земель. Их масштабность с 2006 г. выросла в 7 раз, когда приняли новый Лесной кодекс, подсчитало «Равенство» по данным Росстата и Авиалесоохраны.

За 2017-2021 гг. пожары прошли 34,6 млн га леса, а восстановление леса провели только на 5,2 млн га (0,7%). Всего за 5 лет сгорело на корню 538 млн $м^3$ леса – почти половина от заготовки (1,1 млрд $м^3$) и 0,65% запасов древесины.

Из-за пожаров стало гибнуть леса в 8 раз больше, чем его восстанавливают

В 2021 г. пожары прошли 8,2 млн га лесных земель, а восстановление леса провели только на 1,1 млн га, что в 8 раз меньше площади пожаров. В советские времена баланс был положительным: в 1990 г. пожары погубили 1,4 млн га леса, но восстановление затронуло 1,8 млн га.

Кодекс 2006 г. сделал лес объектом наживы для немногих и сбросил заботу о нем с государства на регионы и бизнес. За последние 5 лет на защиту леса от пожара выделяли 8,4 млрд руб. в год. Это на треть меньше необходимого объема в 12 млрд руб., говорится в Стратегии развития лесного комплекса до 2030 г.- Правительство Российской Федерации РАСПОРЯЖЕНИЕ от 11 февраля 2021 г. № 312-р. Москва. [1,2].

Сегодня остро не хватает космических, авиационных **и технических мощностей** для мониторинга пожарной опасности, тушения огня и расчистки горельников, а имеющаяся техника сильно изношена. Спасатели зависят от иностранных комплектующих для средств защиты, а дефицит техники и спецоборудования по отдельным наименованиям достигает до 90%.[1, 4].

К 2024 г. власти захотели обеспечить баланс между гибелью и восстановлением лесов, **с**ледует из нацпроекта «Экология» [2]. Но за последние 5 лет одни пожары, уничтожили в 7 раз больше леса, чем было восстановлено [1,2].

Лесовосстановление за последние 30 лет сократилось на 42%: в 1990 г. его провели на 1,83 млн га, а в 2021 г. – на 1,06 млн га. Причем искусственное лесовосстановление (непосредственная посадка семян и деревьев) упало в 2,7 раза: с 0,57 до 0,21 млн га.

В результате перехода к капитализму лес в стране стал объектом наживы для немногих. Государство же стало больше заботиться о крупных собственниках и сбрасывало с себя лесохозяйственные обязательства. Это положение закрепили в Лесном кодексе от 2006 г., по которому противопожарные и лесохозяйственные функции переложили на регионы и арендаторов. С тех пор масштабность лесных пожаров выросла в 5-7 раз, а средств на защиту леса от пожаров и лесовосстановление хронически не хватает [2 - 4].

«Арендаторы лесных участков недостаточно заинтересованы в воспроизводстве лесов, эффективном использовании лесосеки и развитии лесной инфраструктуры», – отмечает правительство в стратегии, не называя конкретные компании [2 - 4].

Немногие бизнесмены мало вкладываются в деревообработку, предпочитая гнать на внутренний рынок и экспорт недостаточно обработанную древесину. В итоге из-за низкой степени передела продукции вклад лесного сектора страны всего 0,7% ВНП, тогда как в Финляндии или Швеции – около 5%.

Расчеты показывают, что если принять в среднем по пять миллионов га выгоревшей площади леса в последние 10 лет и минимальный объем оставщегося обгорелого леса 5 $м^3$/га, а выработка в среднем на 1 валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочную машину 15 тыс.$м^3$ в год, то можно определить потребное количество машин.

Исследования технологических процессов и разработка система машин с окоркой деревьев на лесосеке для всех трех направлений: безопасной заготовке древесины после лесных пожаров, зараженной радиацией, опасной сухостойной и изъеденной короедом показали, что они могут быть идентичны (унифицированы). Поэтому мы подробно рассмотрим (ограничимся) технологией и системой машин только для безопасной заготовки древесины зараженной радиацией.

2. Оценка сухостойных и зараженных короедом лесонасаждений Московской области.

Запрет всех видов рубок в Московской области, пожары 2010 года, ветровалы и ледяные дожди 2011 года ослабили деревья и сделали их легкой добычей для прожорливого жука. Все проблемы области уходят своими корнями в предыдущие годы, когда в лесах, ослабленных засухой, пожарами, буреломами, ветровалами и высокой антропогенной нагрузкой, активизировался опасный жук-вредитель. [1].

Известно, что в 2012 году в Московской области зафиксирована вспышка роста численности короеда-типографа. К осени 2012-го года четверть ельников Московской области была поражена короедом.

Эпидемия жука короеда-типографа в Московской области приобрела к 2014 году катастрофические масштабы. К этому времени короед-типограф повредил и практически

уничтожил около 100 тыс. га лесных площадей. Процесс заготовки указанных деревьев является опасным для рабочих и требует разработки специальной технологии.

Если в 1993 году общий объем заготовки древесины в Московской области составлял около 2,5 миллиона куб. метра, то в 2010 году – всего 115 тысяч куб. метров. В 2011 году, несмотря, на то, что на расчистку горельников 2010 года в Московской области были затрачены огромные силы и средства, заготовлено было 817 тысяч кубометров древесины.

31 октября 2012 года губернатор Московской области провел в подмосковном Егорьевске совещание на тему "Санитарное состояние лесов Московской области и меры их оздоровления". На совещании он заявил, что в области необходимо в год вырубать около семи миллионов кубометров древесины для приведения лесов области в благоприятное санитарное состояние. Комитету лесного хозяйства Московской области он поручил в срок до 1 декабря 2012 г. подготовить по итогам совещания предложения.

Для заготовки древесины в количестве около семи миллионов кубометров в год и реального приведения лесов Подмосковья в благоприятное санитарное состояние необходимо разработать целый комплекс мер, основными из которых являются разработка лесозаготовительного технологического процесса и системы (комплекса) машин с учетом наличия на лесосеках значительного объема опасных сухостойных и изъеденных короедом деревьев. Указанные меры должны быть направлены не только на расчистку погибших насаждений и заготовку леса, но и на последующее восстановление устойчивых лесных экосистем [1, 15, 16, 21-23, 25, 27].

3. Технология и система машин с окоркой деревьев на лесосеке для безопасной заготовки древесины, зараженной радиацией (лесонасаждения, зараженные радиацией)

3.1 Оценка радиоактивного заражения лесонасаждений Брянской области.

Катастрофа, случившаяся в ночь с 25 на 26 апреля 1986 года, стала крупнейшей за всю историю атомной энергетики. Радиоактивное облако накрыло 14 регионов страны. Наиболее пострадавшей, в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. оказалась Брянская область. Площадь загрязнения составила более 11800 км^2. Постановлением Правительства РФ от 18.12.1997 г. № 1582 были определены зоны радиоактивного загрязнения, а также районы и населенные пункты, относящиеся к ним. Можно с уверенностью сказать, что степень экологических проблем Брянской области несоизмерима с ее территорией. Леса приняли основную нагрузку при распространении радионуклидов от взрыва на Чернобыльской АЭС. Есть массивы, где радиация выше 40 кюри на квадратный километр [1- 4].

Территория брянских лесов, подвергшихся радиоактивному загрязнению, составила более 310 тысяч гектаров, в то время как весь лесной фонд области составляет 1,2 миллиона гектаров, это около 25 % от всех лесных угодий региона. Особенно в свое время пострадали от радиации юго-западные районы. При этом объем опасного сухостоя, по оценкам брянских специалистов, составляет более 930 тысяч кубических метров, и он продолжает ежегодно увеличиваться на десятки тысяч кубометров. Сухостойный лес подвержен воздействию короедов, является распространителем болезней, и представляет повышенную опасность в пожарном отношении [1 - 4, 15, 16, 21-23,25, 27].

Проблема с радиационным лесом тянется с момента чернобыльской трагедии уже на протяжении более 30 лет. Экологи выражают опасения в том, что из-за пожаров может появиться вероятность поднятия радиоактивного облака на территории области [1 - 4].

При этом почти 30 % брянских лесов находятся в радиационной зоне, приходящейся на леса, подвергшиеся радиоактивному загрязнению свыше 5 Ku/km^2.

По данным ФГУ ВНИИЛМ в зоне радиоактивного загрязнения лесов (15 Ки/км^2) ежегодно проводятся рубки главного пользования на площади до 100 га (Брянская обл.) [1 - 4].

3.2. Технология и техника, применяемые для заготовки и утилизации леса, зараженного радиацией

В результате техногенных аварий, в том числе на Чернобыльской атомной электростанции, значительная часть лесных массивов страны подверглась радиоактивному загрязнению.

Использование древесины из таких регионов весьма актуально, так как позволяет решать экологические проблемы за счет снижения вероятности повторного заражения радионуклидами прилегающих территорий. Предлагается решать данные проблемы на основе технологии переработки древесины, загрязненной радионуклидами на базе мобильных установок, работающих непосредственно на лесосеке. Это позволит избежать перевозки загрязненной древесины в чистые регионы, организовать переработку без строительства стационарных цехов и уменьшить затраты на ее переработку. Эта технология позволяет с минимальными потерями заготавливать и отгружать потребителю древесину в виде окоренного сырья или готовых пиломатериалов. Образующиеся при этом радиоактивные отходы древесины предложено утилизировать путем измельчения и захоронения непосредственно на лесосеке или методами газификации с помощью газогенератора.

Для получения чистой древесины необходимо выполнять целый ряд технологических операций – окорку, распиловку, переработку отходов от распиловки и раскряжевки. Предпочтение следует отдавать мобильным установкам, работающим от бензиновых и дизельных двигателей. [2-4].

Окорка сортиментов может выполняться передвижным окорочным станком с приводом отбора мощности от вала трактора. Погрузка окоренных сортиментов на подвижной состав может осуществляться манипуляторным погрузчиком или самозагружающимся автомобилем.

В районах зон загрязнения, где удельная активность цезия-137 превышает допустимые нормы не только в коре, но и в верхнем 3-х сантиметровом слое древесины проводить окорку нецелесообразно, так как необходимо будет удалять верхний слой древесины.

При переработке древесины, зараженной радионуклидами, невозможно их полностью удалить, незначительная часть все равно остается. Поэтому из такой древесины целесообразно изготавливать продукцию, которая будет эксплуатироваться там, где не будет прямого контакта с человеком (например, шпалы). Производство шпал не сопряжено с большим количеством операций и является наименее трудоемким. Оставшуюся древесину, диаметром в верхнем торце меньше 6 см (вершинки и сучья) можно измельчать в передвижных рубильных машинах. [15, 16, 21-23,25, 27].

Основная информация, регулирующая заготовку и утилизацию радиоактивного, зараженного короедом и сухостойного леса даны в работах. [15, 16, 21 - 23, 25, 27].

АО «Машлес» и академия гражданской защиты МЧС России в качестве базового варианта предлагают:

Технологического процесс, включающий операции:

Валка-пакетирование-трелевка+обрезка сучьев-раскряжевка. Вывозка сортиментов на завод + окорка сортиментов на заводе.

Система машин: валочно – трелевочная (аналог ЛП-17А (рис.1), ЛП-50, ЛП-58) + сучкорезно-раскряжевочная (аналог ЛО-35А); окорочный станок (аналог: финский станок VK– 26 Valen Cone, и разработаны отечественные станки с хорошими параметрами);

2) Валка-обрезка сучьев-раскряжевка + погрузка и транспортирование сортиментов + вывозка сортиментов на завод + окорка сортиментов на заводе.

Система машин: валочно-сучкорезно-раскряжевочная (аналог МЛХ-434 ПО «МТЗ», Беларусь) + погрузочно-транспортная – форвардер (аналог МЛХ-434 ПО «МТЗ», Беларусь, гусеничная погрузочно-транспортная машина завода ООО ЕЗСМ «Континент» (рис.2,

«Витязь») + вывозка сортиментов на завод + окорка сортиментов на заводе (аналог VK– 26. Valen Cone - разработаны отечественные станки).

АО «Машлес» и академия гражданской защиты МЧС России в качестве нового варианта технологического процесса предлагают процесс, включающий операции:

3) Валка-обрезка сучьев-окорка-раскряжевка + погрузка и транспортировка окоренных сортиментов на верхний склад + вывозка окоренных сортиментов на завод.

Система машин: валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочная (аналоги: ЛП-17А (рис.1), ЛП-50, ЛП-58, МЛХ-434 ПО «МТЗ», Беларусь) + погрузочно-транспортная – форвардер (аналоги: МЛХ-434 ПО «МТЗ», Беларусь, гусеничная погрузочно-транспортная машина завода ООО ЕЗСМ «Континент» или «Витязь» (рис.3) + вывозка окоренных сортиментов на завод.

При испытании транспортно – технологических машин (рисунок - 1А, рисунок - .2Б, рисунок - 1В) с различными рабочими органами, в том числе предназначенными для заготовки древесины с окоркой деревьев на лесосеке после лесных пожаров (расчистка горельников), зараженной радиацией, сухостойной и изъеденной короедом, элементы новизны технологии и машины прошли функциональную и технологическую оценку.

Рисунок 1А- Валочно-транспортная машина ЛП-17А.Трелевка деревьев в полупогруженном положении.

Рисунок 1Б- Валочно-транспортная машина ЛП-17Б Трелевка деревьев в полупогруженном положении.

Рисунок 1В. Транспортно-технологическая машина повышенной проходимости с полуприцепом на шасси завода ООО «ЕЗСМ «Континент» при транспортировании пачки деревьев в полностью погруженном положении в сложных природно-климатических условиях.

Таблица 1 - Основные технические характеристики машины ЛП – 17А

База	ЛХТ – 100
Мощность двигателя, кВт (л.с.)	73,0 (100)
Скорость движения, км/ч	2,89-12,8
Удельный расход топлива, г/л.с.	155
Производительность по чистому времени работы при среднем объеме хлыста 0,45 $м^3$ - $м^3$/ч, не менее	35
Грузоподъемный момент манипулятора, кНм	110
Диаметр обрабатываемых деревьев в месте реза, мм, не более	650

Удельное давление на грунт с гусеницей шириной 600 мм, кПа (кгс/см^2)	35,0 (0,35)
Конструкционная масса, кг	13 400
Габаритные размеры (дл. шир. выс.) машины в транспортном положении, мм	7050, 2 370, 3 500

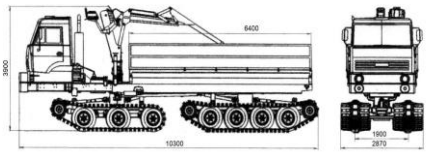


Рисунок 2 - Гусеничная погрузочно-транспортная машина повышенной проходимости завода ООО «ЕЗСМ «Континент».

Машина предназначена для сбора и транспортирования окоренных сортиментов после работы валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочной машины. Машина также предназначена для сбора экологически опасных отходов в Арктике. Несколько образцов машины прошли испытания в Арктической зоне Российской Федерации.

Таблица 2 - Основные технические характеристики погрузочно-транспортной машины завода «Континент»

Мощность двигателя ЯМЗ-238М2/диз. кВт (л.с.)	176 (240)
Масса перевозимого груза, до, т	12
Масса транспортера в снаряженном состоянии, кг	14 160
Полная масса транспортера, кг	24 510
Габаритные размеры, не более, мм	10 000 х 2 900 х 3 400
Среднее удельное давление на грунт, кПа(кгс/см^2)	21,4 (0,22)
Максимальная скорость, км/ч	30
Контрольный расход топлива, л/100 км	180
Максимальный преодолеваемый подъем, %,(°)	580 (30)
Глубина преодолеваемого брода, м	1,8
Максимальный косогор, %, (°)	180 (10)

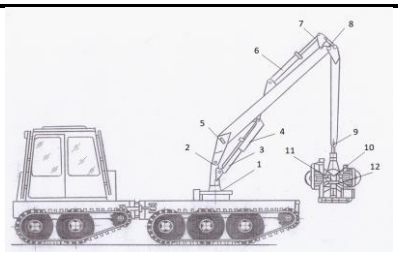


Рисунок 3. Валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочная машина (Схема размещения датчиков при проведении научно-исследовательских испытаний).

Таблица 3 - Основные технические характеристики валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочной машины.

База (шарнирно-сочлененное шасси-ШС)	ШС
Мощность двигателя, кВт (л.с.)	176 (240)
Скорость движения, км/ч	До 30
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч) г/(л.с.·ч)	214 (157)
Производительность по чистому времени работы при среднем объеме хлыста 0,35 м^3 - м^3/ч, не менее	20
Грузоподъемный момент манипулятора, кНм	110

Диаметр обрабатываемых деревьев в месте реза, мм, не более	630
Удельное давление на грунт с гусеницей шир.900 мм, кПа (кгс/см^2)	20,0 (0,20)
Конструкционная масса, кг	16 100
Габаритные размеры (д. ш. в.) машины в транспорт. положении, мм	7550, 2 370, 3 550

Рисунок 4 - Сучкорезно-раскряжевочная машина СМ-35

Таблица 4 - Основные технические характеристики СМ-35

База	ТТ – 4М
Мощность двигателя, кВт (л.с.)	95,5 (130)
Скорость движения, км/ч	2,28-10,23
Удельный расход топлива, г/л.с.	167
Производительность по чистому времени работы при среднем объеме хлыста 0,45 м^3 - м^3/ч, не менее	27
Грузоподъемный момент манипулятора, кНм	110
Диаметр обрабатываемых деревьев в месте реза, мм, не	650
Удельное давление на грунт с гусеницей шириной 550 мм, кПа (кгс/см^2)	44,7 (0,45)
Конструкционная масса, кг	16 890
Габаритные размеры (дл. шир. выс.) машины в транспортном положении, мм	6 850, 2 700, 3 840

На рисунок.5 и рисунок 6 представлены аварийно-спасательная ДТП – 10АСМ и пожарно-спасательная ДТП – 3ПСА машины повышенной проходимости завода АО «МК «Витязь». В таблице 5 даны технические характеристики машины.

Рисунок 5 Аварийно-спасательная машина повышенной проходимости модульного принципа компоновки (сменные модули контейнерного типа: аварийно- спасательные, поисково - спасательные, пожарно - спасательные и др.) с погрузочно- разгрузочным механизмом (мультилифт) на базе шарнирно-сочлененного гусеничного транспортера ДТ-10ПМ, производства АО «МК «Витязь».

Рисунок 6. Пожарно - спасательная машина повышенной проходимости модульного принципа компоновки ДТП – 3ПСА (сменные модули контейнерного типа: пожарно - спасательные, командно - штабные, поисково – спасательные, медицинские,) с погрузочно- разгрузочным механизмом (мультилифт) на базе шарнирно-

сочлененного гусеничного транспортера ДТ-3ПМ, производства завода АО «МК «Витязь». области [21].

Таблица 5 **Технические характеристики пожарно-спасательной и аварийно-спасательной машин со сменным модулем – контейнером и погрузочно - разгрузочным механизмом ДТП – 3ПСА, ДТП- 10АСМ**

N	Параметр	Значение параметра	
1	Модель машины	ДТП – 3ПСА	ДТП – 10АСМ
2	Функциональное назначение	Пожарно-спасатель.	Аварийно-спасат.
3	Базовое шасси	ДТ – 3ПМ	ДТ – 10ПМ
4	Двигатель, тип, мощность, л.с.(кВт)	OSB 6,7 240(176)	В-46-5 С,710 (522)
5	Масса в снаряженном состоянии, т	11,42	23,5
6	Максимальная скорость движения, км/ч	50	44
7	Среднее удельное давление на грунт, кПа, (кгс/с ^{2})	16,0 (0,16)	22,4 (0,23)
8	Максимальный преодолеваемый подъем, (°)	35	35
9	Экипаж боевого расчета, включая водителя, чел.	4	5
10	Трансмиссия	гидромеханическая	гидромеханическая
11	Подвеска	торсионная независимая	торсионная
12	Гусеницы / ширина, мм	600	960
13	Габаритные размеры, мм	9 300х2 100х2 600	14200х2810х3050
14	Запас хода, км	600	700

Рисунок. 7 Арктический внедорожный тягач БАЗ-69092

Для решения задачи по созданию образца универсальной машины 8х8.1 высокой проходимости были рассмотрены два варианта компоновки ПСМ на базе шасси АО «БАЗ».

Первый вариант компоновки можно обозначить, как мобильный модуль поиска и спасения, а второй - как модульный комплекс поиска и спасения.

Для первого варианта могут быть использованы конструктивные решения 4-осного специального шасси БАЗ-69098 (8х8.1), предназначенного для монтажа кранового, подъемного оборудования г/п до 50 т.

Технические характеристики разрабатываемого шасси приведены в таблице 6.

Рисунок 8. Новый образец базового шасси повышенной проходимости БАЗ-6910(690902М) с увеличенной кабиной для монтажа различного технологического оборудования (лесозаготовительных, аварийно-спасательных и поисково-спасательных машин) для проведения работ в условиях Крайнего Севера в Арктической зоне РФ.

Таблица 6. Технические характеристики специального колесного шасси высокой проходимости БАЗ-6910(690902М).

№	Технические характеристики	Значения
1	Двигатель, тип, мощность, л.с. (кВт)	ТМЗ-8493.10-034. 500 (368)
2	Масса снаряженного шасси, т	18,7

3	Грузоподъемность, т	26,0
4	Максимальный преодолеваемый подъем, град (%)	30 (57,7)
5	Угол поперечной статической устойчивости, град	40
6	Глубина преодолеваемого брода, м	1,8
7	Наибольшая ширина преодолеваемого рва, м	1,5
8	Наименьший радиус поворота, м	15
9	Максимальная скорость движения, км/час	80
10	Запас хода по контрольному расходу, км	От 1500 от ТЗ.(СЦ)
11	Трансмиссия	механическая
12	Подвеска	торсионная, независимая
13	Габаритные размеры, мм (12760х2750х3080)	12760х3100х3080
14	Клиренс, мм	580

Заслуживает большого внимания опыт создания машин для лесной промышленности и лесного хозяйства. Кушляев В..Ф. (ЦНТОлеспром и НТЦ ЗАО «Машлес») принимал участие в создании валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины-харвестера (рисунок 9) и погрузочно-транспортной машины (форвардера) (рисунок 10) с финскими машиностроителями К.Рантапуу, Марку Мякеля, Терратек. Машины были разработаны и изготовлены с использованием узлов, агрегатов, систем серийных тракторов Минского тракторного завода. Хорошие результаты получены при разработке, производстве и эксплуатации валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины и погрузочно-транспортной машины заводами ООО «Велмаш-С» и Минским тракторным заводом.

Риунокс.9 Валочно-сучкорезно-раскряжевочная и погрузочно-транспортная машины разработанные и изготовленные финскими машиностроителями К. Рантапуу, Марку Мякеля, Terratek. с использованием узлов и систем серийных моделей тракторов Минского тракторного завода.

Риунокс.10. Погрузочно-транспортная машина, разработанная и изготовленная финскими машиностроителями К. Рантапуу, Марку Мякеля, Терратек с использованием узлов и систем серийных моделей тракторов Минского тракторного завода.

Расчёт экономической эффективности применения «Способа выработки окоренных сортиментов и рабочего органа (машины) для его осуществления» выполняется путём определения годового экономического эффекта, который может быть получен от использования машины, оснащенной гидроманипулятором и рабочим органом (для валки, обрезки сучьев, окорки и раскряжевки ствола опасных сухостойных и изъеденных короедом деревьев с получением окоренной древесины) в сравнении с базовым объектом.

В соответствии с методикой, за базовый объект принята машина с манипулятором и валочно-сучкорезно-раскряжёвочным устройством (харвестер), например, МЛХ-434 (ПО «МТЗ», Беларусь), используемая в комплексе машин на лесосеке и окорочный станок для обработки полученного лесоматериала (сортимента) в стационарных условиях, например,

VK– 26 (Valen Cone, Финляндия или отечественный станок). При этом затраты, связанные с вывозкой лесоматериалов не учитываются, так как они будут одинаковы для базового и нового вариантов. Приведённые затраты по базовой и новой технике определяются по формуле:

$$З = С + Е_н \times К,$$

где: С – себестоимость единицы продукции, руб,;

К – удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб.;

$Е_н$ – нормативный коэффициент, принимаем $Е_Н = 0,15$.

Таблица. 7. Параметры и показатели базового и нового технологического процесса

№ п/п	Технические параметры и эксплуатационные показатели	Базовая техника		Базовый технологич.ий процесс	Новый технологич-процесс
1	Технологические операции	Валка, обрезка сучьев, раскряжевка	Окорка	Валка, обрезка сучьев, раскряжевка + окорка	Валка, обрезка сучьев, окорка, раскряжевка
2	Комплекс машин и оборудования	МЛХ-434 ПО «МТЗ», Беларусь	VK– 26. Valen Cone, Финляндия	МЛХ-434 + VK– 26	ВСОРМ
3	Мощность двигателя, $N_{эф}$, кВт.	114	30 + 15	114 + 30 + 15	114
4	Масса машины, оборудования, кг.	15 500	7 400 + 1100	14 000 + 7 400	15 800
5	Диаметр обрабатываемого ствола (бревна), см.	до 630	100 - 620	до 620	до 630
6	Скорость протаскивания ствола при обрезке сучьев и окорке, м / с.	до 5	0,8		до 3,5
7	Производительность в смену, $м^3$.	95	82	82	82
8	Количество рабочих смен в году.	190	220	220	205
9	Годовой объём работ, $м^3$.	18 050	18 050	18 050	16 800
10	Стоимость машины, оборудования, тыс. руб.	11 500	1 800	11 500 + 1 800	11 800
11	Стоимость машино – смены, руб.	180		120	200
12	Годовая стоимость основных производственных фондов, руб.	10 000	4000	14 000	11 000
13	Себестоимость 1 $м^3$, руб.	144,00	58.00	184,00	139,0
14	Удельные капитальные вложения в основные произ. фонды, К, руб./ $м^3$.	637	100	737	702
15	Удельная масса машин, $кг/м^3$	163,16	103,66	260,98	191,46
16	Удельная мощность машин, $N_{уд}$, кВт/т.	7,4	5,3	7,4	7,3

Таким образом, в целом по всему процессу (валка, обрезка сучьев, окорка, раскряжевка), выполняемому валочно-сучкорезно-окорочно-раскряжевочной машиной в сравнении с прототипом (валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина + отдельный окорочный станок с транспортерами: подающим неокоренные и перемещающим окоренные сортименты) выработка на человека возрастает до 15 - 22%, удельная энергоемкость и металлоемкость соответственно сократятся до 17% и 18 %.

Список литературы

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2021 г. № 312-р. Москва.

2. Руководство по ведению лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения от аварии на Чернобыльской АЭС (на период 1997-2000 г.) Федеральная служба лесного хозяйства России. Москва - 1997.

3. Коростелёв А.И. Радиоактивное загрязнение территории брянских лесов и пути хозяйственного использования заготавливаемой древесины / А.И. Коростелёв, О.Н. Коростелёва, А.А. Рыбикова // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 4 – С. 104-106.

4. Платонов Е.И. Технология заготовки лесопродукции в зоне радиационного загрязнения. – Брянск, БГИТА, 2009, С.131-133.

5. Кушляев В.Ф. Машина для рубок ухода за лесом "Дятел-1"- В кн.: Тезисы сообщения при осмотре объектов участниками пленума НТО в ЛОС "Калснава" и Екабпилском ЛПХ. Рига: ЛатНИИЛХП, 1967, с.20-21.

6. Иевинь И.К. Машина "Дятел-1" для рубок ухода за лесом / И.К. Иевинь, В.С. Лаздан, В.Ф. Кушляев // Сборник статей по итогам договорных научно-исследовательских работ за 1965-1966 г.г.- М.: Лесная промышленность, 1968, с.100-103.

7. Kuchljaev V.F. Study of a Fellingless Method of Tree Cutting. State Forestry Committer of USSR. The Latvian Scientific Research Institute for Forestry (LatNIILHP). List of distributed papers to the joint JUFRO meeting on thinning and mechanization in Stockholm, Sweden, September 7-13, 1969, 3 p.

8. Иевинь И.К. О комплексной механизации рубок ухода за лесом / И.К. Иевинь, В.С. Лаздан, В.Ф. Кушляев, И.П. Озолинь и др. // Лесное хозяйство, 1969, N 6, С. 84-86. 9. Baranovskis V., Kushlajevs V., Kopilovs V. Koku gasanas-treilesanas masinas ar hidromanipulatoriem.- Ref. kraj."Mezsaimnieciba un mezrupnieciba".Riga,1976, N 3, 31-33 lpp.

10. Кочегаров В.Г. Способы валки и пакетирования деревьев при рубках с сохранением подроста / В.Г. Кочегаров, В.Ф. Кушляев, И.П. Озолинь, Г.М. Велликок // - Лесное хозяйство, 1978, N 10, с.57-59.

11. Кочегаров В.Г. Режимы работы валочно-трелевочной машины флангового типа при заготовке леса с подсортировкой / В.Г. Кочегаров, Ю.А. Ширнин, В.Ф. Кушляев // - В кн.: Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса. Межвуз. сб. науч. тр., вып.8. - Л.: ЛТА, 1979, С. 7-10

12. Кушляев В.Ф. Лесозаготовительные машины манипуляторного типа / В.Ф. Кушляев. // М.: Лесная промышленность, 1981.- 248 с. Тираж 5700 экз.

13. Федоров Ю.М. Валочно-трелевочная машина ЛП-17 / Ю.М. Федоров, Д.М. Алексеев, В.Ф. Кушляев,, Е.А. Колобов, В.В. Акимов, Н.П. Яскунов, В.В. Федоров // - М.: Лесная промышленность, 1984.- 250 с. Тираж 5800 экз.

14. Кушляев В.Ф. Основные требования к разработке перспективных технологических процессов заготовки леса / В.Ф. Кушляев // Рукопись 43 с. Библиограф. указ. "Депонированные научные работы". - М.: ВИНИТИ, 1988, № 4, С.162.

15. Кушляева О.В. Экологические требования к технологии и системе машин для заготовки леса и возможность контроля посредством космического мониторинга / О.В. Кушляева, В.Ф. Кушляев. // Москва. Доклад на международном форуме «Авиация и космонавтика – 2006». Московский авиационный институт. Москва. 2006. 6 с.

http://www.mai.ru/conf/aerospace/intemetconf/modules.php?name= Forums&file=viewtopic&t= 1048& view-previous

16. Кушляев В.Ф. К вопросу создания и использования роботизированной техники для заготовки леса в радиационных зонах / В.Ф. Кушляев //. XXII Международная научно-практическая конференция «Предупреждение. Спасение. Помощь». 4 апреля 2012 года. Химки: ФГБОУ ВПО «АГЗ МЧС России». – 2012 – С. 52 - 54.

17. Кушляев В.Ф. Разработка гусеничной аварийно-спасательной машины повышенной проходимости для условий Арктики / В.Ф. Кушляев, А.А. Аграновский, В.А. Леонов // Материалы Международной НПК. «Автомобильный транспорт сегодня. Проблемы и перспективы». ВГЛТУ. г. Воронеж. 7-9 октября 2015. Журнал: Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Том 3 № 4 ч.1, 2015.С.71-76. Рубрики: Секция «Современные и перспективные конструкции автотранспортных средств». DOI: 10.I2737/13891. ISSN 2308.8877.

18. Кушляев В.Ф. Гусеничные машины повышенной проходимости для тушения лесных пожаров / В.Ф. Кушляев, М.В. Гомонай, А.А. Аграновский, А.А. Максименко, Леонов В.А. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. Воронеж, 2016. - № 5 ч. 2 (25-2). – С.326 – 332. ISSN 2308-8877.

19.. Кушляев В.Ф. Гусеничные пожарные, аварийно-спасательные и транспортно-технологические машины для Крайнего Севера / В.Ф. Кушляев, М.В. Гомонай, А.А. Аграновский. В.А. Леонов // Журнал: Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. МАДИ. № 3(13). 2017.С.7 ISSN 2409-7217 (Online) Corpus ID:15959519.

20 Кушляев В.Ф. Создание четырех-гусеничных машин для тушения лесных пожаров в условиях Крайнего Севера / В.Ф. Кушляев, Ч.У. Иргит, В.А. Леонов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России, Иваново, 11 декабря 2019 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – 716 с. С.385 – 394.

21. Ильин А.И. Технические требования к аварийно-спасательной машине на шасси АО «МК «Витязь» для применения в чрезвычайных ситуациях Арктической зоны Российской Федерации / А.И. Ильин, В.Ф. Кушляев, А.А. Аграновский // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России, Иваново, 17–18 ноября 2020 г. – Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС

22. Кушляев В.Ф. Технология и техника для безопасной заготовки и утилизации древесины с радиоактивным загрязнением / В.Ф. Кушляев, А.А. Аграновский, О.В. Кушляева // Сборник материалов I Всероссийской НПК «Исследование вопросов радиационной, химической и биологической защиты в мирное и военное время», состоявшейся 11 – 12 ноября 2020 г. в Военной академии радиационной, химической и биологической защиты им. Маршала С.К. Тимошенко, г. Кострома, МО. НТС ВА РХБЗ. - № 4(90). – Ч I. – Кострома, 2020. – С. 201 -211, Ин. № 19488.

23. Кушляев В.Ф. Предложения к разработке техники для безопасной заготовки и утилизации древесины с радиоактивным загрязнением / В.Ф. Кушляев, А.С. Еропкин, О.В. Кушляева // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции «Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения» - 22 апреля 2021 г. ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. 292 с. С.51-57. eLIBRARY ID: 46291418 EDN SDCHLO.

24. Кушляев В.Ф. Транспортно-технологические машины повышенной проходимости для условий Арктической зоны Российской Федерации// В.Ф. Кушляев, А.А. Аграновский, Д.В. Кушляев. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидации. Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных

ситуаций МЧС Республики Беларусь. Минск. 2021. № 2 (50). С.139-163. УДК: 629.017.656.5,690.57. DOI: https://doi.org /10.54422/1994439X. ISSN: 1994-439X.

25. Кушляев В.Ф. Программа и методика исследовательских испытаний машин с автоматизированной системой управления для безопасной заготовки и утилизации древесины зараженной радиацией, опасных сухостойных, изъеденных короедом и обгорелых деревьев// В.Ф. Кушляев, Д.В. Кушляев, О.В. Кушляева, А.Д. Сози, М.А. Зеленов, А.К. Брагин. Сборник статьей XVIII Международной научно-практической конференции «Гражданская оборона и природно-технические системы» - ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – 24-25 марта 2022 г. Воронеж. С.135-158. ISBN: 978-5-7731-1056-9.

26. Юнкина У.П. К методике проектирования манипулятора, обеспечивающего безопасное функционирование машины в чрезвычайных ситуациях / У.П. Юнкина, М.Ю. Яковенко, Д.В. Кушляев, О.В. Кушляева, В.Ф. Кушляев // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. – 580 с.С.452-469. – ISBN: 978-5-907353-55-8.

27. Кушляев В.Ф. Система машин и модель оценки производительности основной машины для разрубки противопожарных просек и обработки деревьев после лесных пожаров / В.Ф. Кушляев, Д.В. Кушляев, О.В. Кушляева, А.Д. Сози, М.А. Зеленов, А.К. Брагин // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: сборник материалов дней науки с международным участием, 6-10 декабря 2021 г. – Екатеринбург: ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России, 2022. Ч.1. – 2022. – 295 с. С. 142-151. ISBN 978-5-917764-096-6 (Ч.1).

References

1. Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030. Decree of the Government of the Russian Federation No. 312-r dated February 11, 2021. Moscow.

2. Guidelines for forestry in areas of radioactive contamination from the Chernobyl accident (for the period 1997-2000) Federal Forestry Service of Russia. Moscow - 1997.

3. Korostelev A.I. Radioactive contamination of the territory of Bryansk forests and ways of economic use of harvested wood / A.I. Korostelev, O.N. Korosteleva, A.A. Rybikova // Fundamental research. 2011. No. 4– pp. 104-106.

4. Platonov E.I. Technology of harvesting timber products in the radiation pollution zone. Bryansk, BGITA, 2009, pp.131-133.

5. Kushlyaev V.F. Woodpecker-1 logging machine - In: Abstracts of the message during the inspection of objects by participants of the NTO plenum in the Kalsnava LOS and the Yekabpilsky agricultural farm. Riga: LatNIILHP, 1967, pp.20-21.

6. Ievin I.K. The Woodpecker-1 machine for logging / I.K. Ievin, V.S. Lazdan, V.F. Kushlyaev // Collection of articles based on the results of contractual scientific research work for 1965-1966, Moscow: Lesnaya promyshl, 1968, pp.100-103.

7. Kuchljaev V.F. Study of a Fellingless Method of Tree Cutting. State Forestry Committer of USSR. The Latvian Scientific Research Institute¬ for Forestry (LatNIILHP). List of distributed papers to the joint JUFRO meeting on thinning and mechanization in Stockholm, Sweden, September 7-13, 1969, 3 p.

8. Yevin I.K. On the complex mechanization of logging / I.K. Ievin, V.S. Lazdan, V.F. Kushlyaev, I.P. Ozolin, and others // Forestry, 1969, N 6, pp. 84-86. 9. Baranovskis V., Kushlajevs V., Kopilovs V. Koku gasanas-treilesanas masinas ar hidromanipulatoriem.- Ref. kraj."Mezsaimnieciba un mezrupnieciba".Riga,1976, N 3, 31-33 lpp.

10. Kochegarov V.G. Methods of felling and packing trees during logging with the preservation of undergrowth / V.G. Kochegarov, V.F. Kushlyaev, I.P. Ozolin, G.M. Vellikok // - Forestry, 1978, N 10, pp.57-59.

11. Kochegarov V.G., Shirnin Yu.A., Kushlyaev V.F. Modes of operation of a flanking-type felling and skidding machine when harvesting forests with sub-sorting // - In: Logging, logging and overland forest transport. Interuniversity collection of scientific papers, vol.8. L.: LTA, 1979, pp. 7-10

12. Kushlyaev V.F. Manipulator-type logging machines / V.F. Kushlyaev. // M.: Forest industry, 1981. - 248 p. The print run is 5,700 copies.

13. Fedorov Yu.M. Felling and skidding machine LP-17 / Yu.M. Fedorov, D.M. Alekseev, V.F. Kushlyaev, E.A. Kolobov, V.V. Akimov, N.P. Yaskunov, V.V. Fedorov // - M.: Lesnaya promyshlya, 1984. - 250 p. The edition is 5800 copies.

14. Kushlyaev V.F. Basic requirements for the development of promising technological processes of logging / V.F. Kushlyaev // Manuscript 43 p. Bibliograf. the decree. "Deposited scientific papers." Moscow: VINITI, 1988, No. 4, p. 162.

15. Kushlyaeva O.V. Environmental requirements for the technology and system of machines for logging and the possibility of monitoring through space monitoring / O.V. Kushlyaeva, V.F. Kushlyaev. // Moscow. Report at the international forum "Aviation and Cosmonautics – 2006". Moscow Aviation Institute. Moscow. 2006.6 p http://www.mai ru/conf/aerospace/intemetconf/modules.php?name= Forums&file=viewtopic&t=1048& view-previous

16. Kushlyaev V.F. On the issue of creating and using robotic equipment for logging in radiation zones / V.F. Kushlyaev //. XXII International Scientific and Practical Conference "Prevention. Salvation. Help." April 4, 2012. Khimki: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "AGZ of the Ministry of Emergency Situations of Russia". - 2012 – pp. 52-54.

17. Kushlyaev V.F. Development of an all-terrain tracked rescue vehicle for Arctic conditions / V.F. Kushlyaev, A.A. Agranovsky, V.A. Leonov // Materials of the International Scientific and Technical Conference. "Motor transport today. Problems and prospects". VGLTU. Voronezh. October 7-9, 2015. Journal: Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. Volume 3 No. 4 part 1, 2015.pp.71-76. Categories: Section "Modern and promising designs of motor vehicles". DOI:

10.I2737/13891. ISSN 2308.8877.

18. Kushlyaev V.F. Tracked off-road vehicles for extinguishing forest fires / V.F. Kushlyaev, M.V. Gomonai, A.A. Agranovsky, A.A. Maksimenko, Leonov V.A. // Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice of scientific papers based on the materials of the international correspondence scientific and practical conference. Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov. Voronezh, 2016, No. 5, part 2 (25-2), pp.326-332. ISSN 2308-8877.

19. Kushlyaev V.F. Tracked firefighters, rescue and transport-technological vehicles for the Far North / V.F. Kushlyaev, M.V. Gomonai, A.A. Agranovsky. V.A. Leonov // Journal: Automobile. Road. Infrastructure. MADI. No. 3(13). 2017.P.7 ISSN 2409-7217 (Online) Corpus ID:15959519.

20 Kushlyaev V.F. Creation of four-tracked vehicles for extinguishing forest fires in the Far North / V.F. Kushlyaev, Ch.U. Irgit, V.A. Leonov // Modern fireproof materials and technologies: proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 370th anniversary of the formation of the Fire Protection of Russia, Ivanovo, December 11, 2019 Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019. – 716 p. s.385-394.

21. Ilyin A.I. Technical requirements for an emergency rescue vehicle on the chassis of JSC MK Vityaz for use in emergency situations in the Arctic zone of the Russian Federation / A.I. Ilyin, V.F. Kushlyaev, A.A. Agranovsky // Fire and Emergency safety: collection of materials of the XV International Scientific and Practical Conference dedicated to the 30th Anniversary of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ivanovo, November 17-18, 2020 – Ivanovo : Ivanovo Fire and Rescue Academy of GPS

22. Kushlyaev V.F. Technology and equipment for the safe harvesting and disposal of wood with radioactive contamination / V.F. Kushlyaev, A.A. Agranovsky, O.V. Kushlyaeva // Collection of materials of the I All–Russian Scientific Research and Development Conference "Research of issues of radiation, chemical and biological protection in peacetime and wartime", held on November 11-12, 2020 in Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after Marshal S.K. Timoshenko, Kostroma, MO. NTS VA RCBZ. - No. 4(90). – Ch. I. – Kostroma, 2020. – pp. 201-211, In. No. 19488.

23. Kushlyaev V.F. Proposals for the development of equipment for the safe harvesting and disposal of wood with radioactive contamination / V.F. Kushlyaev, A.S. Eropkin, O.V. Kushlyaeva // Collection of reports of the All-Russian scientific and practical conference "Fire safety: modern challenges. Problems and Solutions" - on April 22, 2021, St. Petersburg State Pedagogical University of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 292 p. s.51-57. eLibrary ID: 46291418 EDN SDCHLO.

24. Kushlyaev V.F. Transport and technological off-road vehicles for the conditions of the Arctic zone of the Russian Federation// V.F. Kushlyaev, A.A. Agranovsky, D.V. Kushlyaev. Emergency situations: prevention and liquidation. Scientific Research Institute of Fire Safety and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus. Minsk. 2021. No. 2 (50). pp.139-163. UDC: 629.017.656.5,690.57. DOI: https://doi.org /10.54422/1994439X. ISSN: 1994-439X.

25. Kushlyaev V.F. Program and methodology of research tests of machines with an automated control system for the safe harvesting and disposal of wood contaminated with radiation, dangerous hardy, bark beetle-eaten and burnt trees// V.F. Kushlyaev, D.V. Kushlyaev, O.V. Kushlyaeva, A.D. Sozi, M.A. Zelenov, A.K. Bragin. Collection of articles of the XVIII International Scientific and Practical Conference "Civil Defense and Natural Engineering Systems" - Voronezh State Technical University. – March 24-25, 2022 Voronezh. pp.135-158. ISBN: 978-5-7731-1056-9.

26. Yunkina U.P. On the methodology of designing a manipulator that ensures the safe operation of a machine in emergency situations / U.P. Yunkina, M.Y. Yakovenko, D.V. Kushlyaev, O.V. Kushlyaeva, V.F. Kushlyaev // Reliability and durability of machines and mechanisms: collection of materials of the XIII All-Russian Scientific and Practical conference, Ivanovo, April 14, 2022 Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022. – 580 p.452-469. - ISBN: 978-5-907353-55-8.

27. Kushlyaev V.F., Kushlyaev D.V., Kushlyaev O.V., Sozi A.D., Zelenov M.A., Bragin A.K. A system of machines and a model for evaluating the performance of the main machine for cutting fire-fighting clearings and processing trees after forest fires // Actual problems and innovations in ensuring safety: collection of materials of days Sciences with International Participation, December 6-10, 2021 – Yekaterinburg: Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2022. Part 1. – 2022. – 295 p. p. 142-151. ISBN 978-5-917764-096-6 (Part 1).

DOI: 10.58168/Forestry2025_613-617
УДК 656.025.4

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

Е.В. Мирошников[1], **С.Н. Глаголев**[2], **И.А. Новиков**[3]

[1]к.т.н., вице-президент ПАО «Ростелеком»,
[2]д.э.н., и.о. ректора,
[3]д.т.н., директор транспортно-технологического института,
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
г. Белгород, Россия

Аннотация.

В статье анализируется текущее состояние и перспективы развития региональных грузоперевозок в Российской Федерации в контексте Транспортной стратегии до 2030 года с прогнозом до 2035 года. Авторы подчеркивают необходимость системной трансформации, направленной на создание современной, цифровой и мультимодальной логистической экосистемы, а не просто наращивание мощностей. Ключевыми направлениями развития являются оптимизация структуры перевозок (снижение доли дальних автоперевозок), развитие инфраструктуры («грузовые деревни», Единая опорная сеть) и всесторонняя цифровизация процессов. Особое внимание уделено специфике различных регионов и необходимости синергии усилий государства, бизнеса и науки для обеспечения равных экономических возможностей по всей стране.

Ключевые слова: грузоперевозки, грузопоток, среднее расстояние перевозки, объем, регион.

STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF REGIONAL FREIGHT TRANSPORTATION

E.V. Miroshnikov[1], **S.N. Glagolev**[2], **I.A. Novikov**[3]

[1] PhD, Vice President of Rostelecom PJSC,
[2] Doctor of Economics, Acting Rector,
[3] Doctor of Technical Sciences, Director of the Transport and Technology Institute,
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov
Belgorod,Russia

Abstract.

The article analyzes the current state and prospects for the development of regional cargo transportation in the Russian Federation in the context of the Transport Strategy until 2030, with a forecast until 2035. The authors emphasize the need for systemic transformation aimed at creating a modern, digital, and multimodal logistics ecosystem, rather than simply increasing capacity. The key areas of development include optimizing the transportation structure (reducing the share of long-distance road transportation), developing infrastructure (cargo villages, Unified Support Network), and comprehensively digitalizing processes. Special attention is paid to the specifics of different regions and the need for synergy between government, business, and science to ensure equal economic opportunities throughout the country.

© Мирошников Е.В., Глаголев С.Н., Новиков И.А.,2025

Keywords: cargo transportation, cargo flow, average transportation distance, volume, region.

Грузоперевозки являются кровеносной системой национальной экономики, определяющей ее конкурентоспособность, устойчивость и темпы роста [1-4]. В условиях глобальной логистической трансформации, вызванной технологическим прогрессом, геополитическими сдвигами и стремлением к устойчивому развитию, эффективность грузоперевозочного процесса приобретает стратегическое значение. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (далее – Стратегия) [5] представляет собой всеобъемлющий документ, который не только диагностирует текущее состояние отрасли, но и задает четкие ориентиры для ее будущего развития. Анализ этого документа позволяет сформировать целостную картину вызовов, стоящих перед грузовым транспортом, и перспектив его трансформации.

Рассматривая показатели грузооборота автомобильным видом транспорта за десятилетний период, можно отметить, что за период с 2010 по 2019 год наблюдался устойчивый рост грузооборота – на 12% в целом по отрасли. Однако за этими цифрами скрываются серьезные системные проблемы, которые Стратегия выделяет как ключевые инфраструктурные и технологические вызовы. Одной из главных проблем является перегрузка ключевых транспортных артерий. Порядка 21% федеральных автомобильных дорог функционируют в режиме перегрузки, что создает узкие места и увеличивает логистические издержки. При этом доля скоростных автомагистралей в России составляет менее 0,5% от общей протяженности сети – это в 3–7 раз ниже, чем в развитых странах. Помимо этого, наблюдается дисбаланс в распределении грузопотоков между видами транспорта. Более 30% несырьевых грузов перевозятся автомобильным транспортом на расстояния свыше 1000 км, тогда как оптимальная дальность для автоперевозок, с учетом экономической и экологической эффективности, составляет 500–700 км. Это указывает на недогрузку железнодорожного транспорта на средних и дальних дистанциях и ведет к неоправданному росту издержек и вредных выбросов.

Для решения имеющихся проблем в области перевозки грузов автомобильным видом транспорта в Стратегии определены следующие перспективные направления (рис. 1).

Рис. 1 – Основные направления развития грузовых автомобильных перевозок

Схема, представленная на рис. 1 визуализирует комплексный подход к развитию грузовых перевозок, где автомобильный транспорт играет ключевую, но не изолированную

роль. Его развитие неразрывно связано с другими видами транспорта и общими системными мерами. Согласно схеме (рис. 1), повышение эффективности, скорости и надежности грузоперевозок — это фундаментальная цель, достижение которой зависит от решения всех остальных задач. Для автотранспорта это означает сокращение времени в пути за счет ликвидации «узких мест» на дорогах, строительства обходов крупных городов и развития скоростных магистралей, внедрение цифровых сервисов для отслеживания грузов в реальном времени, прогнозирования заторов и оптимизации маршрутов позволяет планировать доставку с высокой точностью, обновление парка грузовиков, внедрение систем дистанционного мониторинга технического состояния (телематика) для предотвращения поломок в пути.

Развитие грузоперевозок в регионах Российской Федерации, согласно положениям Стратегии, представляет собой сложный, многоаспектный процесс, направленный на устранение существующих инфраструктурных диспропорций, повышение экономической связанности территорий и создание условий для устойчивого роста местных экономик. Этот процесс не предполагает унифицированного подхода, а строится с учетом географического положения, экономической специализации и транспортно-логистического потенциала каждого субъекта Федерации, что требует дифференцированных стратегий и целевых инвестиций.

Центральным элементом региональной политики является фокус на развитие транспортной инфраструктуры в направлении двадцати крупнейших городских агломераций, которые выступают основными генераторами грузопотоков. К 2035 году совокупный прирост объема грузоперевозок в направлении этих агломераций составит 885 миллионов тонн, из которых 500 миллионов тонн приходится на входящие потоки и 385 миллионов тонн — на исходящие. Такой рост обусловлен спецификой экономической деятельности: например, Московская агломерация будет получать значительные объемы строительных материалов, отражая масштабы столичного строительства, тогда как Краснодарская агломерация станет ключевым центром для зерновых и строительных грузов, что указывает на ее двойную роль как аграрного и строительно-динамичного региона. Владивостокская агломерация, в свою очередь, выступит в качестве важнейшего восточного логистического узла, обеспечивая связь с рынками Азиатско-Тихоокеанского региона.

Одним из ключевых инструментов для интеграции регионов в единую национальную и международную логистическую систему является создание сети мультимодальных транспортно-логистических центров, или «грузовых деревень». Эти хабы, размещаемые в стратегически важных точках, включая все макрорегионы страны, обеспечат бесшовную перегрузку грузов между автомобильным, железнодорожным и внутренним водным транспортом, а также предоставят комплекс услуг, включая таможенное оформление, складирование и консолидацию. Для региональных производителей и малых перевозчиков это означает доступ к глобальным рынкам, снижение логистических издержек и повышение конкурентоспособности их продукции, что особенно актуально для удаленных и труднодоступных территорий, таких как Дальний Восток и Сибирь.

Фундаментальным направлением является оптимизация структуры грузовых потоков между видами транспорта на региональном уровне. Стратегия прямо указывает на необходимость снижения доли автомобильных перевозок на дальние расстояния, превышающие 1000 километров, поскольку для таких маршрутов более экономически и экологически эффективны железнодорожный и внутренний водный транспорт. В регионах автомобильный транспорт должен сосредоточиться на своих компетенциях: обеспечении гибкой и быстрой доставки «от двери до двери» на короткие и средние дистанции, не превышающие 500–700 километров. Для стимулирования этого перераспределения будут использоваться комплексные меры, включая тарифную политику, систему платы за

использование дорог и цифровые платформы, позволяющие грузовладельцам выбирать оптимальный и экономически выгодный маршрут.

Цифровая трансформация выступает в качестве сквозного и трансформационного фактора для всех регионов. Переход на стопроцентный электронный документооборот, включая внедрение государственной системы «Электронные перевозочные документы», кардинально упростит и удешевит логистические процессы для региональных компаний, устранив бумажную волокиту и риски ошибок. Развитие цифровых логистических платформ позволит малым перевозчикам находить грузы, а грузовладельцам – оптимальных исполнителей. Внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в крупных региональных центрах — таких как адаптивные светофоры, системы контроля средней скорости и «умная» уборка дорог — повысит эффективность и безопасность дорожного движения [6, 7]. Особенно перспективным для обширных и малонаселенных регионов является внедрение автономного транспорта, для чего к 2035 году планируется оборудовать более 100 тысяч километров дорог необходимой инфраструктурой.

Развитие грузоперевозок также учитывает отраслевую специализацию регионов. Для сельскохозяйственных территорий приоритетом является создание логистики для зерна и удобрений, включая строительство современных элеваторов и модернизацию подъездных путей к сельхозпредприятиям. Промышленные регионы требуют развития инфраструктуры для тяжеловесных перевозок и создания промышленных логистических парков. В Арктической зоне и на Дальнем Востоке акцент делается на развитие портовой инфраструктуры, обеспечение круглогодичной навигации и внедрение беспилотных воздушных судов для доставки грузов в изолированные поселки, где наземное сообщение отсутствует или затруднено.

Таким образом, развитие грузоперевозок в регионах России — это не просто наращивание мощностей, а системная трансформация, направленная на создание современной, цифровой, мультимодальной и устойчивой логистической экосистемы. Она призвана обеспечить всем регионам равные возможности для экономического роста, интеграции в национальные и глобальные рынки, а также повысить качество жизни населения за счет доступности товаров и услуг. Успех этой трансформации будет зависеть от синергии усилий федеральных и региональных органов власти, бизнес-сообщества и научного сектора, а также от эффективного использования как бюджетных, так и внебюджетных инвестиций.

Список литературы

1. Повышение эффективности функционирования транспортно-логистического комплекса страны / С. Н. Глаголев, С. В. Еремин, А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-2(86). – С. 132-138. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-132-138.

2. Курганов, В. М. Эволюция логистики: обзор концепций и девятиэтапная модель / В. М. Курганов, М. В. Грязнов, А. Н. Дорофеев // Логистика. – 2025. – № 6(223). – С. 44-51.

3. Грязнов, М. В. Совершенствование планирования, организации и управления перевозками автомобильным транспортом / М. В. Грязнов. – Москва : ФГУП НТЦ «Информрегистр», 2024. – 112 с.

4. Новописный, И. А. Сравнительный анализ программ безопасности дорожного движения германии и Российской Федерации / И. А. Новописный, А. Г. Шевцова, А. Е. Макагонов // Техника и технологии строительства. – 2015. – № 4(4). – С. 11-17.

5. О транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27.11.2021 № 3363-р // Собрание законодательства Российской Федерации от 2021 г. - № 50 (ч. IV). Ст. 8613.

6. Новиков, А. Н. Основные принципы расчета программы светофорного регулирования на основе управляемых сетей и потока насыщения / А. Н. Новиков, С. В.

Еремин, А. Г. Шевцова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16, № 6(70). – С. 680-691. – DOI 10.26518/2071-7296-2019-6-680-691.

7. Шевцова, А. Г. Современный подход к управлению светофорным объектом / А. Г. Шевцова, И. А. Новиков, А. Е. Боровской // Информационные технологии и инновации на транспорте : материалы 2-ой Международной научно-практической конференции, Орел, 17–18 мая 2016 года / Под общей редакцией А.Н. Новикова. – Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2016. – С. 366-370.

References

1. Improving the Efficiency of the Country's Transport and Logistics Complex / S. N. Glagolev, S. V. Eremin, A. N. Novikov, A. G. Shevtsova // The World of Transport and Technological Machines. - 2024. - No. 3-2 (86). - Pp. 132-138. - DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2 (86) -132-138.

2. Kurganov, V. M. Evolution of Logistics: A Review of Concepts and a Nine-Stage Model / V. M. Kurganov, M. V. Gryaznov, A. N. Dorofeev // Logistics. - 2025. - No. 6 (223). - Pp. 44-51.

3. Gryaznov, M. V. Improving the planning, organization and management of road transportation / M. V. Gryaznov. - Moscow: FSUE NTC "Informregistr", 2024. - 112 p.

4. Novopisny, I. A. Comparative analysis of road safety programs in Germany and the Russian Federation / I. A. Novopisny, A. G. Shevtsova, A. E. Makagonov // Construction equipment and technologies. - 2015. - No. 4 (4). - P. 11-17.

5. On the transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035: Order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-r // Collected Legislation of the Russian Federation dated 2021. - No. 50 (Part IV). Art. 8613.

6. Novikov, A. N. Basic principles of calculating a traffic light control program based on controlled networks and saturation flow / A. N. Novikov, S. V. Eremin, A. G. Shevtsova // Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University. - 2019. - Vol. 16, No. 6 (70). - P. 680-691. - DOI 10.26518/2071-7296-2019-6-680-691.

7. Shevtsova, A. G. Modern approach to traffic light control / A. G. Shevtsova, I. A. Novikov, A. E. Borovskoy // Information technologies and innovations in transport: materials of the 2nd International scientific and practical conference, Orel, May 17–18, 2016 / Under the general editorship of A. N. Novikov. – Orel: Oryol State University named after I. S. Turgenev, 2016. – P. 366–370.

DOI: 10.58168/Forestry2025_618-628
УДК 630 68:658.7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАМКНУТОЙ ЦЕПИ ПОСТАВОК В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

А.П. Мохирев[1], С.О. Медведев[2]

[1]д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобильных дорог и городских сооружений», Сибирский федеральный университет, г. Красноярск;
[2]канд. экон. наук, доцент кафедры «Гуманитарных и социально-политических дисциплин», *Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Лесосибирск, Россия*

Аннотация

В данной статье проводится комплексный анализ концепции проектирования замкнутых цепей поставок в лесопромышленном комплексе (ЛПК) с акцентом на факторы локализации предприятий глубокой переработки древесины. Исследование базируется на актуальных данных о развитии лесного комплекса России, в частности в контексте импортозамещения и устойчивого развития. Рассматриваются методологические подходы к интеграции прямых и обратных материальных потоков, анализируются ключевые факторы локализации производств, предлагаются модели оптимизации сетевой структуры с учетом региональных особенностей. Статья содержит практические рекомендации для участников рынка и органов государственного управления.

Ключевые слова: замкнутая цепь поставок, лесопромышленный комплекс, глубокая переработка древесины, локализация производства, устойчивое развитие, факторы размещения производств, региональное развитие.

DESIGNING A CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN IN THE TIMBER INDUSTRY WITH ACCOUNT FOR LOCALIZATION FACTORS OF DEEP PROCESSING

A.P. Mokhirev [1], S.O. Medvedev [2]

[1]Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of "Highways and Urban Structures", Siberian Federal University, Krasnoyarsk;
[2]Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of "Humanitarian and Socio-Political Disciplines", Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Lesosibirsk, Russia

Abstract

This article provides a comprehensive analysis of the concept of designing closed-loop supply chains (CLSC) in the timber industry with a focus on the localization factors for wood deep processing enterprises. The research is based on current data on the development of Russia's forest sector, particularly in the context of import substitution and sustainable development. The study examines methodological approaches to integrating forward and reverse material flows, analyzes key factors for production localization, and proposes models for optimizing the network structure considering regional specifics. The article contains practical recommendations for market participants and public administration bodies.

© Мохирев А. П., Медведев С. О., 2025

Keywords: closed-loop supply chain, timber industry, wood deep processing, production localization, sustainable development, factors of production location, regional development.

1 Введение

Современный этап развития лесопромышленного комплекса России характеризуется возрастающей сложностью логистических и производственных задач [1]. В условиях санкционного давления и необходимости импортозамещения критически важной становится задача развития глубокой переработки древесины на территории страны. Как отмечают эксперты, существующая модель ЛПК во многих регионах ориентирована на экспорт круглого леса и простых пиломатериалов, что не создает достаточной добавленной стоимости и не обеспечивает устойчивого развития лесных территорий [2].

Замкнутая цепь поставок (Closed-Loop Supply Chain, CLSC) представляет собой интеграцию прямых и обратных материальных потоков, позволяющую создать цикличную модель использования ресурсов [3]. В контексте ЛПК такая модель предполагает не только традиционную заготовку и переработку древесины, но и возврат в производственный цикл отходов, вторичных ресурсов, а также продукции после окончания срока службы. Это особенно актуально для производств глубокой переработки, где вопросы обеспечения сырьевой безопасности и эффективности использования ресурсов выходят на первый план [4].

Локализация производств глубокой переработки становится стратегическим приоритетом для многих регионов России. Как свидетельствуют данные, в Коми-Пермяцком автономном округе, где лесная отрасль является основной, отсутствие глубокой переработки приводит к значительным экономическим и социальным проблемам, включая безработицу и отток населения [5]. В то же время реализуемые инвестиционные проекты в Иркутской области и Красноярском крае демонстрируют потенциал создания сбалансированного продуктового портфеля, включающего как механическую, так и химическую обработку древесины [6].

Целью данного исследования является разработка научно-обоснованного подхода к проектированию замкнутых цепей поставок в ЛПК с учетом факторов локализации предприятий глубокой переработки. Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

1. Анализ концептуальных основ замкнутых цепей поставок в применении к ЛПК;
2. Выявление и систематизация ключевых факторов локализации производств глубокой переработки;
3. Разработка моделей интеграции прямых и обратных материальных потоков;
4. Формулирование практических рекомендаций для участников рынка и органов власти.

2 Методология исследования

Исследование базируется на системном подходе, позволяющем рассматривать замкнутую цепь поставок как сложную систему взаимосвязанных элементов. Использовались методы сравнительного анализа региональных практик, экономико-математического моделирования цепей поставок, а также экспертной оценки факторов локализации.

Для анализа факторов локализации применялся статистический метод обработки данных о размещении производств в различных регионах России. Моделирование цепей поставок осуществлялось с учетом принципов устойчивого развития и требований циркулярной экономики, предполагающей максимально полное использование ресурсов и минимизацию отходов [7].

Информационной базой исследования послужили данные отраслевых отчетов [8], материалы государственных органов статистики [9], а также открытые источники информации о инвестиционных проектах в ЛПК [6]. Особое внимание уделялось анализу

успешных кейсов внедрения замкнутых моделей в других отраслях, таких как металлургия и производство электротехнического оборудования [10].

3 Концептуальные основы замкнутых цепей поставок в ЛПК

3.1 Теоретические аспекты

Замкнутая цепь поставок представляет собой интеграцию прямых и обратных материальных потоков в единую систему, позволяющую осуществлять полный цикл использования продукции - от производства до утилизации и повторного использования [3]. В отличие от традиционной линейной модели ("добыча-производство-потребление-выброс"), замкнутая модель предполагает циркуляцию материалов и продукции на всех этапах жизненного цикла.

Для лесопромышленного комплекса концепция замкнутая цепь поставок приобретает особое значение в связи со следующими факторами:

- Экологическая ответственность: необходимость минимизации воздействия на лесные экосистемы;
- Экономическая эффективность: возможность снижения затрат за счет использования вторичных ресурсов;
- Ресурсная безопасность: обеспечение стабильности поставок сырья для производств глубокой переработки [11].

3.2 Специфика глубокой переработки в ЛПК

Глубокая переработка древесины предполагает создание продукции с высокой добавленной стоимостью через химическую и биохимическую трансформацию древесного сырья. В отличие от механической переработки (производство пиломатериалов, фанеры), глубокая переработка позволяет создавать продукты с принципиально новыми потребительскими свойствами [12].

К продукции глубокой переработки относятся: целлюлоза и бумага высоких качеств; биотопливо (пеллеты, брикеты); биохимические продукты (этанол, лигнин, канифоль); композитные материалы (древесно-полимерные композиты); специализированные химические продукты (активированный уголь, сорбенты).

Таблица 1: Сравнительная характеристика видов переработки древесины

Параметр	Механическая переработка	Глубокая переработка
Добавленная стоимость	Низкая и средняя	Высокая и очень высокая
Технологическая сложность	Средняя	Высокая
Капиталоемкость	Средняя	Высокая
Энергоемкость	Низкая и средняя	Высокая
Зависимость от сырьевых качеств	Низкая	Высокая
Требования к локализации	Умеренные	Высокие

4 Факторы локализации производств глубокой переработки в ЛПК

4.1 Сырьевые факторы

Доступ к стабильной сырьевой базе является определяющим фактором для локализации производств глубокой переработки. Как отмечают эксперты, в Коми-Пермяцком округе предприниматели сталкиваются с проблемой нехватки лесосырьевой базы и завышенными ценами на аукционах [5]. Это делает экономически нецелесообразным создание производств с высокой добавленной стоимостью.

Важным аспектом является качество сырья и его соответствие технологическим требованиям. Для разных видов глубокой переработки необходима древесина с определенными свойствами (породный состав, плотность, химические характеристики). Например, для производства целлюлозы требуются хвойные породы с длинными волокнами, а для биохимических производств может использоваться низкосортная древесина и отходы [13].

4.2 Инфраструктурные факторы

Транспортная инфраструктура играет ключевую роль в обеспечении экономической эффективности замкнутых цепей поставок. Производства глубокой переработки требуют надежных транспортных связей как для поставки сырья, так и для вывстава готовой продукции. Особое значение имеет наличие подъездных путей, логистических центров, терминалов [14].

Энергетическая инфраструктура является критически важной для энергоемких производств глубокой переработки. Обеспечение доступными энергоресурсами (электроэнергия, газ, тепловая энергия) определяет конкурентные преимущества локации [15].

4.3 Рыночные и регуляторные факторы

Близость к потребителям готовой продукции имеет особое значение для некоторых видов продукции глубокой переработки. Например, транспортировка жидких биохимических продуктов может быть ограничена логистически и экономически [16].

Регуляторная поддержка со стороны органов власти различных уровней может значительно повлиять на привлекательность локации. Как показывает опыт, отсутствие территориального планирования является одной из проблем глубокой переработки [17]. Региональные власти могут создавать благоприятные условия через:

- Предоставление налоговых льгот;
- Инфраструктурную поддержку;
- Содействие в получении лесосырьевой базы;
- Создание кластеров и особых экономических зон [18].

Таблица 2: Рейтинг факторов локализации производств глубокой переработки в ЛПК

Фактор	Важность	Влияние на стоимость	Временной горизонт воздействия
Доступ к сырью	Очень высокая	Высокое	Долгосрочный
Энергообеспечение	Высокая	Высокое	Долгосрочный
Транспортная инфраструктура	Высокая	Среднее	Среднесрочный
Квалифицированные	Средняя	Среднее	Среднесрочный

Фактор	Важность	Влияние на стоимость	Временной горизонт воздействия
кадры			
Налоговые условия	Средняя	Низкое	Краткосрочный
Экологические требования	Средняя	Среднее	Среднесрочный

5 Проектирование замкнутой цепи поставок с учетом локализации глубокой переработки

5.1 Принципы моделирования цепи поставок

Проектирование замкнутой цепи поставок требует учета множества взаимозависимых процессов внутри и вне организации, что делает ситуацию довольно непредсказуемой [19]. Традиционные методы моделирования на основе электронных таблиц часто не позволяют адекватно обрабатывать такие сложные системы.

Современное программное обеспечение для симуляционного моделирования объединяет на одной платформе аналитическую оптимизацию и динамическое моделирование. Это позволяет проектировать, анализировать и модернизировать все элементы цепи поставок с учетом факторов локализации [20].

Ключевые этапы проектирования включают:

1. Гравитационный анализ для определения оптимального количества и размещения объектов цепи поставок;
2. Оптимизацию сети для поиска оптимального сочетания производственных площадок и распределительных центров;
3. Динамическое моделирование для оценки устойчивости цепи поставок в условиях неопределенности.

5.2 Интеграция прямых и обратных потоков

Для ЛПК интеграция прямых и обратных потоков предполагает создание системы сбора и переработки отходов на всех этапах цепочки создания стоимости. Это включает: использование отходов лесозаготовки (ветки, кора, пни); переработку отходов деревообработки (опилки, стружка, обрезки); утилизацию продукции после окончания срока службы (мебель, строительные материалы) [21] (рисунок 1).

Опыт других отраслей показывает, что создание системы сбора и предварительной обработки вторичного сырья через специализированных посредников является экономически эффективным решением [10]. Аналогичный подход может быть применен и в ЛПК [22].

5.3 Оценка экономической эффективности

Внедрение замкнутой цепи поставок требует дополнительных инвестиций в инфраструктуру сбора и обработки вторичного сырья. Однако, как показывает практика, при соответствующем масштабе деятельности эти расходы не превышают затрат на покупку нового сырья [23, 24].

Ключевые преимущества внедрения замкнутой модели:

- Снижение затрат на приобретение сырья;
- Повышение устойчивости к колебаниям рынка сырья;
- Создание дополнительных доходных потоков от переработки отходов;
- Улучшение экологического имиджа и соответствие регуляторным требованиям [25].

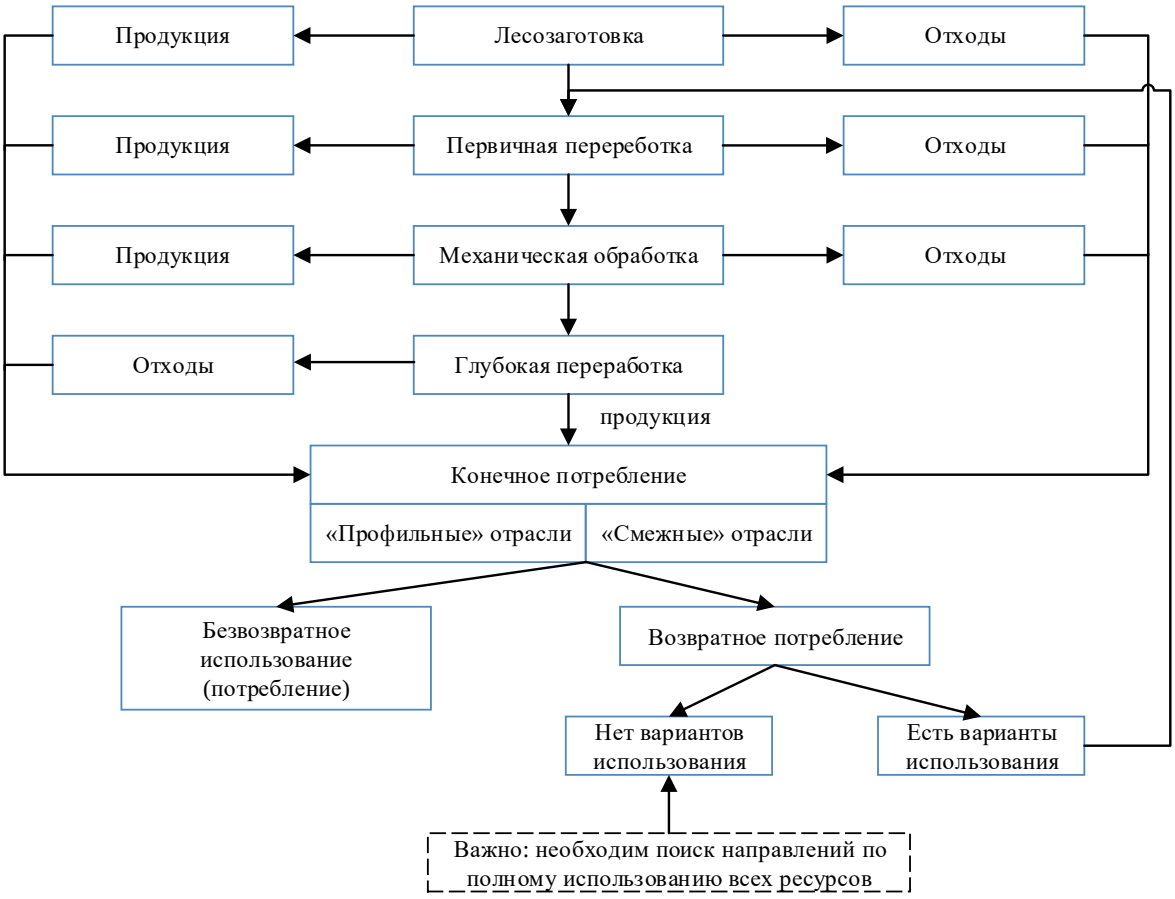


Рисунок 1 – Предлагаемая замкнутая цепь поставок

6 Примеры реализации проектов глубокой переработки в российских регионах

6.1 Иркутская область

Иркутская область демонстрирует успешный пример развития ЛПК на принципах глубокой переработки. В регионе действуют крупные целлюлозно-бумажные комбинаты и реализуются приоритетные инвестиционные проекты [6]. Особенностью региона является сбалансированный продуктовый портфель, включающий как механическую, так и химическую обработку древесины. Это свидетельствует о успешной интеграции различных переделов в единую цепочку создания стоимости.

6.2 Красноярский край: комплексный подход к глубокой переработке

Красноярский край представляет собой один из наиболее перспективных регионов для развития замкнутых цепей поставок в ЛПК. Регион обладает значительным лесным потенциалом [9].

Ключевые проекты глубокой переработки в крае включают:

1. Модернизацию Красноярского ЦБК с увеличением выпуска целлюлозы и созданием мощностей по производству биоэтанола из отходов.
2. Создание производств древесных плит MDF с использованием отходов лесопиления.
3. Формирование Богучанского лесопромышленного кластера - интегрированного комплекса с полным циклом переработки [26].

Особенности реализации замкнутых цепей поставок в Красноярском крае:

- Создание территориально-производственных кластеров;
- Внедрение системы каскадного использования древесины;
- Развитие транспортной инфраструктуры;
- Реализация государственно-частного партнерства.

Таблица 3: Экономические показатели проектов глубокой переработки в Красноярском крае (оценочные данные)

Проект	Объем инвестиций, млрд руб.	Годовая мощность	Добавленная стоимость на м³ древесины, руб.
Модернизация ЦБК	85+	1.2 млн т целлюлозы	15 400
Производство MDF	12+	120 тыс. м³ плит	8 200
ЛПК полного цикла	45+	1 млн м³ пиломатериалов	6 800
Традиционное лесопиление	1-2	50-100 тыс. м³	1 500-2 000

6.3 Коми-Пермяцкий автономный округ

Коми-Пермяцкий округ представляет пример проблемной территории, где отсутствие глубокой переработки приводит к социально-экономическим проблемам. Основное производство обеспечивают предприятия лесной отрасли, но отсутствие глубокой переработки приводит к тому, что добавленная стоимость создается в других регионах [5]. Решение проблем округа связано с созданием преференций для местных предпринимателей и реализацией программ по развитию глубокой переработки.

7 Перспективы и направления развития

7.1 Технологические тренды

Развитие технологий глубокой переработки древесины открывает новые возможности для создания замкнутых цепей поставок [27]. К перспективным направлениям относятся:

- Биорефайнинги - комплексные предприятия по переработке биомассы в широкий спектр продуктов;
- Каскадное использование древесины;
- Технологии цифрового моделирования цепей поставок [28].

7.2 Стратегические инициативы

Для успешного развития замкнутых цепей поставок в ЛПК необходимы скоординированные усилия всех заинтересованных сторон:

- Разработка региональных стратегий развития ЛПК с учетом принципов циркулярной экономики;
- Создание нормативной базы, стимулирующей глубокую переработку и использование вторичных ресурсов;
- Формирование кластеров глубокой переработки [18];
- Развитие международного сотрудничества в области трансфера технологий.

8 Заключение

Проектирование замкнутых цепей поставок в лесопромышленном комплексе с учетом факторов локализации глубокой переработки представляет собой сложную, но актуальную задачу. Решение этой задачи требует комплексного подхода, учитывающего сырьевые, инфраструктурные, рыночные и регуляторные аспекты.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Развитие глубокой переработки в ЛПК является необходимым условием для повышения эффективности отрасли и создания добавленной стоимости в регионах.
2. Проектирование замкнутых цепей поставок требует использования современных инструментов моделирования, позволяющих учитывать взаимосвязь множества факторов и условий неопределенности.
3. Локализация производств глубокой переработки должна основываться на тщательном анализе региональных особенностей, включая доступ к сырью, энергоресурсам и транспортной инфраструктуре.
4. Успешные кейсы в различных регионах России демонстрируют возможность реализации проектов глубокой переработки при условии комплексного подхода и поддержки со стороны органов власти.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой отраслевых моделей замкнутых цепей поставок для различных видов продукции глубокой переработки, а также оценкой влияния цифровизации на эффективность управления материальными потоками в ЛПК.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Красноярского краевого фонда науки № 25-11-20033, https: //rscf.ru/project/25-11-20033/.

Список литературы

1. Федеральный проект «Развитие лесного комплекса» в составе национального проекта «Экология». URL: https://леснойкомплекс.рф/ (дата обращения: 15.09.2025).
2. Петров, А.П. Современные тенденции развития глубокой переработки древесины в России / А.П. Петров // Лесной вестник. – 2020. – № 3. – С. 34-42.
3. Guide, V.D.R. The evolution of closed-loop supply chain research / V.D.R. Guide, L.N. Van Wassenhove // Operations Research. – 2009. – Vol. 57, No. 1. – P. 10-18.
4. Govindan, K. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future / K. Govindan, H. Soleimani, D. Kannan // European Journal of Operational Research. – 2015. – Vol. 240, No. 3. – P. 603-626.
5. Селименков, Р.Ю. Институциональные ограничения развития лесопромышленного комплекса / Р.Ю. Селименков // Экономика региона. – 2019. – Т. 15, № 4. – С. 1089-1102.
6. Обзор инвестиционных проектов в лесопромышленном комплексе России // Рейтинговое агентство «Эксперт РА». – 2022. – URL: https://raexpert.ru/researches/lesprom/2022/ (дата обращения: 15.10.2023).
7. Kirchherr, J. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions / J. Kirchherr, D. Reike, M. Hekkert // Resources, Conservation and Recycling. – 2017. – Vol. 127. – P. 221-232.
8. Аналитический обзор лесопромышленного комплекса России / Национальное рейтинговое агентство. – 2021. – URL: https://www.ra-national.ru/upload/iblock/.../lesnoy_kompleks_2021.pdf (дата обращения: 15.10.2023).
9. Лесное хозяйство в России. 2023: Стат.сб. / Росстат. – М., 2023. – 85 с.
10. Atasu, A. So what if remanufacturing cannibalizes my new product sales? / A. Atasu, V.D.R. Guide, L.N. Van Wassenhove // California Management Review. – 2010. – Vol. 52, No. 2. – P. 56-76.
11. Иванов, А.В. Методика оценки эффективности локализации производств глубокой переработки в лесопромышленном комплексе / А.В. Иванов // Лесохозяйственная информация. – 2021. – № 4. – С. 45-53.
12. Hansen, E. The role of wood material in green building in the context of Europe / E. Hansen, G.J. Nabuurs, A. Oosterbaan // Forest Policy and Economics. – 2017. – Vol. 83. – P. 18-24.

13. Hurmekoski, E. Diversification of the forest industries: role of new wood-based products / E. Hurmekoski et al. // Canadian Journal of Forest Research. – 2018. – Vol. 48, No. 12. – P. 1417-1432.

14. Логистика в лесном комплексе: учебное пособие / под ред. В.И. Петрова. – М.: МГУЛ, 2019. – 256 с.

15. Региональные инвестиционные стандарты // Агентство стратегических инициатив. – URL: https://asi.ru/investclimate/standards/ (дата обращения: 15.10.2023).

16. D'Amato, D. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues / D. D'Amato et al. // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 168. – P. 716-734.

17. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 312-р).

18. Porter, M.E. Clusters and the new economics of competition / M.E. Porter // Harvard Business Review. – 1998. – Vol. 76, No. 6. – P. 77-90.

19. Georgiadis, P. Decision making in reverse logistics using system dynamics / P. Georgiadis, D. Vlachos // Production Planning & Control. – 2004. – Vol. 15, No. 4. – P. 407-419.

20. AnyLogic: Simulation Modeling Software Tools & Solutions for Business – URL: https://www.anylogic.ru/ (дата обращения: 15.10.2023).

21. Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe [COM(2014) 398 final]. – European Commission, 2014.

22. Lieder, M. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry / M. Lieder, A. Rashid // Journal of Cleaner Production. – 2016. – Vol. 115. – P. 36-51.

23. Medvedev, S. O. Study of the Effectiveness of the Russian Regions Forestry Activities / S. O. Medvedev, A. P. Mokhirev, M. A. Zyryanov // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. – 2024. – Vol. 17, No. 12. – P. 2322-2336.

24. Seuring, S. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management / S. Seuring, M. Müller // Journal of Cleaner Production. – 2008. – Vol. 16, No. 15. – P. 1699-1710.

25. Медведев, С. О. Эффективность лесной отрасли России по федеральным округам: портфельный анализ / С. О. Медведев, М. А. Зырянов, А. П. Мохирев // Креативная экономика. – 2023. – Т. 17, № 2. – С. 713-730. – DOI 10.18334/ce.17.2.117198.

26. Информация о реализации инвестиционных проектов // Министерство промышленности, энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Красноярского края. – URL: https://www.krskstate.ru/energo/invest/0/ (дата обращения: 15.10.2023).

27. Russian Timber Industry: Current Situation and Modelling of Prospects for Wood Biomass Use / S. O. Medvedev, M. A. Zyryanov, A. P. Mokhirev [et al.] // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. – 2022. – Vol. 17, No. 5. – P. 745-752. – DOI 10.18280/ijdne.170512.

28. Hetemäki, L. Leading the way to a European circular bioeconomy strategy / L. Hetemäki, M. Hanewinkel, B. Muys // From Science to Policy. – 2017. – No. 5. – P. 1-48.

References

1. The federal project "Development of the forest complex" as part of the national project "Ecology". URL: https://леснойкомплекс.рф / (date of access: 09/15/2025).

2. Petrov, A.P. Modern trends in the development of deep wood processing in Russia / A.P. Petrov // Lesnoy vestnik. – 2020. – No. 3. – pp. 34-42.

3. Hyde, V.D.R. Evolution of research of closed supply chains / V.D.R. Hyde, L.N. Van Wassenhove // Operational research. - 2009. – Volume 57, No. 1. – pp. 10-18.

4. Govindan, K. Reverse logistics and closed supply chains: a comprehensive overview for exploring the future / K. Govindan, H. Soleimani, D. Kannan // European Journal of Operational Research. 2015. Vol. 240, No. 3. pp. 603-626.

5. Selimenkov, R.Y. Institutional constraints on the development of the timber industry / R.Y. Selimenkov // The economy of the region. – 2019. – Vol. 15, No. 4. – pp. 1089-1102.

6. Review of investment projects in the Russian timber industry [Electronic resource] // Rating Agency "Expert RA". – 2022. – URL: https://raexpert.ru/researches/lesprom/2022 / (accessed: 10/15/2023).

7. Kirchherr, J. Conceptualization of the closed-loop economy: an analysis of 114 definitions / J. Kirchherr, D. Reike, M. Heckert // Resources, conservation and recycling. – 2017. – Volume 127. – pp. 221-232.

8. Analytical review of the Russian timber industry [Electronic resource] / National Rating Agency. – 2021. – URL: https://www.ra-national.ru/upload/iblock/.../lesnoy_kompleks_2021.pdf (date of reference: 10/15/2023).

9. Forestry in Russia. 2023: Statistical collection / Rosstat, Moscow, 2023, 85 p.

10. Atasu, A. What if repeated production reduces sales of my new product? / A. Atasu, V.D.R. Hyde, L.N. Van Wassenhove // California Management Review. – 2010. – Vol. 52, No. 2. – pp. 56-76.

11. Ivanov, A.V. Methodology for assessing the effectiveness of localization of deep processing industries in the timber industry / A.V. Ivanov // Forestry information. – 2021. – No. 4. – pp. 45-53.

12. Hansen, E. The role of wood materials in ecological construction in the context of Europe / E. Hansen, G.J. Nabours, A. Osterbaan // Forest Policy and Economics. – 2017. – Volume 83. – pp. 18-24.

13. Hurmekoski, E. Diversification of the forest industry: the role of new wood-based products / E. Hurmekoski et al. // Canadian Journal of Forest Research. – 2018. – Volume 48, No. 12. – pp. 1417-1432.

14. Logistics in the forest complex: a textbook / edited by V.I. Petrov. Moscow: MGUL, 2019. 256 p.

15. Regional investment standards [Electronic resource] // Agency for Strategic Initiatives. – URL: https://asi.ru/investclimate/standards / (accessed: 10/15/2023).

16. D'Amato, D. Zelenaya, circularnaya, bioeconomics: a comparative analysis of the directions of sustainable development / D. D'Amato et al. // Journal of Clean Production. – 2017. – Volume 168. – pp. 716-734.

17. Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030 (approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated February 11, 2021 No. 312-r).

18. Porter, M.E. Clusters and the new economy of competition / M.E. Porter // Harvard Business Review. – 1998. – Volume 76, No. 6. – Pp. 77-90.

19. Georgiadis, P. Decision-making in reverse logistics using system dynamics / P. Georgiadis, D. Vlahos // Production planning and control. - 2004. – Volume 15, No. 4. – pp. 407-419.

20. AnyLogic: Software tools and solutions for simulation modeling for business – URL: https://www.anylogic.ru / (accessed: 10/15/2023).

21. Towards a closed-loop economy: the Zero Waste program for Europe [COM(2014) 398 final]. – European Commission, 2014.

22. Leader, M. Towards the introduction of a closed-loop economy: a comprehensive review in the context of the manufacturing industry / M. Leader, A. Rashid // Journal of Clean Production. - 2016. – Volume 115. – pp. 36-51.

23. Medvedev, S. O. Investigation of the effectiveness of forestry activities in the regions of Russia / S. O. Medvedev, A. P. Mohirev, M. A. Zyryanov // Bulletin of the Siberian Federal University. Humanities and social sciences. – 2024. – Volume 17, No. 12. – pp. 2322-2336.

24. Zeiring, S. From a literature review to the conceptual foundations of sustainable supply chain management / S. Zeiring, M. Muller // Journal of Cleaner Production. - 2008. – Volume 16, No. 15. – pp. 1699-1710.

25. Medvedev, S. O. Efficiency of the Russian forest industry by federal districts: a portfolio analysis / S. O. Medvedev, M. A. Zyryanov, A. P. Mohirev // Creative Economy. – 2023. – Vol. 17, No. 2. – pp. 713-730. – DOI 10.18334/ce.17.2.117198.

26. Information on the implementation of investment projects [Electronic resource] // Ministry of Industry, Energy and Housing and Communal Services of the Krasnoyarsk Territory. – URL: https://www.krskstate.ru/energo/invest/0 / (date of access: 10/15/2023).

27. Russian timber industry: The current state and modeling of prospects for the use of wood biomass / S. O. Medvedev, M. A. Zyryanov, A. P. Mohirev [et al.] // International Journal of Design, Nature and Ecodynamics. – 2022. – Volume 17, No. 5. – pp. 745-752. – DOI 10.18280/ijdne.170512.

28. Hetemaki, L. Paving the way for the European strategy of circular bioeconomics / L. Hetemaki, M. Hanewinkel, B. Muis // From science to politics. - 2017. – No. 5. – pp. 1-48.

DOI: 10.58168/Forestry2025_629-638
УДК 630 377.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ ИСКУСТВЕННОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРЫТИЯ ЗИМНИХ ЛЕСНЫХ ДОРОГ ПОД НАГРУЗКАМИ

В.В. Никитин
д.т.н., профессор кафедры «Технологии и оборудование лесопромышленного производства»

А.В. Ветров
аспирант, кафедры «Технологии и оборудование лесопромышленного производства»,

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)», Мытищинский филиал, 141005, Россия, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, 1

Аннотация.
Исследована динамическая прочность искусственного льда (ИЛ) для лесных зимних автодорог (АЛЗД) в зависимости от температуры. Рассмотрены технологии послойного намораживания с добавками полилактида (PLA) и хлорида калия (KCl) с древесными опилками. Установлено, что оптимальная концентрация PLA (5-7%) снижает толщину ИЛ на 20-30%. Предложен метод расчета толщины ИЛ. Результаты предназначены для проектирования АЛЗД в регионах с неустойчивым климатом.

Ключевые слова: искусственный лед; автомобильные лесные зимние дороги; динамическая прочность; температурная зависимость; модифицирующие добавки.

STUDY OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF ARTIFICIAL ICE COATING OF WINTER FOREST ROADS STRENGTH UNDER LOADS

V.V. Nikitin
Doctor ot tech. sci., professor of "Technologies and equipment of forest industrial complex" department

A.V. Vetrov
aspirant of "Technologies and equipment of forest industrial complex" department

Bauman Moscow State Technical University (National research university), Mytischi Branch, Russia, 141005, Moscow region, Mytischi, 1-st Instituskaya str., 1

Abstract. The dynamic strength of artificial ice (AL) for forest winter motor roads (FWMR) depending on temperature was studied. Technologies of layer-by-layer freezing with additives of polylactide (PLA) and potassium chloride (KCl) with sawdust are considered. Optimal PLA concentration (5-7%) was found to reduce AL thickness by 20-30%. Method of IL thickness calculation is proposed. The results are intended for the design of ALZD in regions with an unstable climate.

© Никитин В. В., Ветров А. В., 2025

Keywords: artificial ice; forest winter motor roads; dynamic strength; temperature dependence; modifying additives.

Автомобильные зимние лесные дороги (АЛЗД) из искусственного льда (ИЛ) — ключевой элемент лесотранспортной инфраструктуры. Они обеспечивают грузоперевозки к удалённым объектам с особыми климатическими условиями, где сезонные перепады температур и высокий уровень заболоченности ограничивают доступность территорий.

Главная техническая сложность строительства зимних лесных автодорог с ледяным покрытием — обеспечение прочности льда под нагрузками. Его характеристики зависят от технологии намораживания, финальной толщины, температуры и интенсивности движения. В отличие от естественного, искусственный лёд формируется в контролируемых условиях, что позволяет оптимизировать его свойства.

Моделирование выполнено для территории Луковецкого подразделения ГК «Титан» (рисунок 1) в Архангельской области — ключевого поставщика сырья для Архангельского ЦБК, который заготавливает и транспортирует до 4 млн м³ древесины в год с использованием зимних дорог.

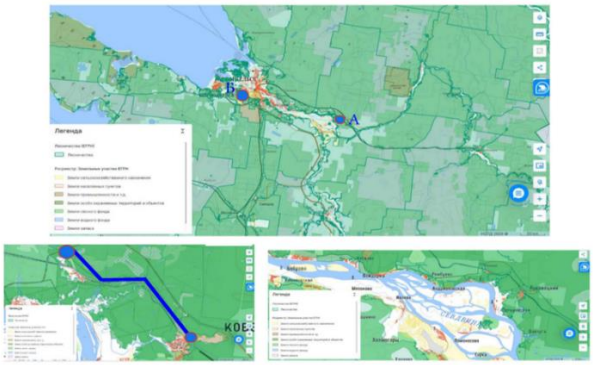


Рисунок 1. Карта Луковецкого подразделения ГК “Титан” (Архангельская область)

Луховецкий район отвечает всем необходимым критериям для проведения моделирования и дальнейшего проектирования АЛЗД. Это: наличие значительных лесосырьевых ресурсов, потребность в надёжных транспортных путях для их вывозки, а также климатические условия, благоприятные для применения ледовых технологий.

На основе топографической съемки Луховецкого района выполнена генерация триангуляционной модели поверхности (TIN-поверхности) (рисунок 2). Эта модель отображает все неровности рельефа и позволяет проводить инженерный анализ, включая построение продольных и поперечных профилей, расчет объемов земляных работ и проектирование оптимальной трассы зимней дороги.

Рисунок 2. Цифровая модель местности (ЦММ) в Civil 3D

В рамках проектирования АЛЗД из ИЛ в условиях СЗФО основной задачей является уменьшение толщины ледяного покрытия при сохранении требуемой несущей способности. Для этого применяются два типа модифицирующих добавок, сочетаемых с армирующими древесными отходами:

1. Полимеры + древесные опилки — обеспечивают высокую прочность и устойчивость к динамическим нагрузкам.

2. Соли + древесные опилки — повышают морозостойкость и снижают температуру плавления.

Оба варианта (таблица 1) включают послойное намораживания льда с равномерным распределением добавок и теплоизоляционными прослойками (опилки) [1, 2, 3, 4].

Таблица 1 – Основные технологические характеристики добавок для применения в условиях АЛЗД

Параметры	Тип добавки	
	Полимеры (PLA) + опилки (5–15% объема)	Соли (KCl) + опилки (5–15% объема)
Экологическое воздействие	Биоразлагаемость (PLA): распадается на воду и CO_2 за 6–12 месяцев в компостных условиях.	Хлорид калия (KCl): менее агрессивен, но при накоплении вызывает засоление.
Теплопроводность	Низкая (0.08–0.1 Вт/м·К)	Умеренная (0.1–0.15 Вт/м·К)
Адаптация к климату	Устойчивы к морозам ниже –30°C. Эффективны при частых оттепелях (–5°C...–10°C).	Лучше работают в стабильно холодном климате

В качестве критерия прочности хрупких упругих тел используется критерий Галилея, в соответствии с которым разрушение не происходит, если

$$\max(\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3) < \tilde{\sigma} \quad (1)$$

здесь σ1, σ2, σ3 - главные напряжения; $\tilde{\sigma}$ - предел прочности льда [4].

По схеме (рисунок 3) выполняется построение структурно-геометрической модели искусственного льда с определяющими ячейками рассола, которые состоят из вводимых в водный раствор модификаторов льда.

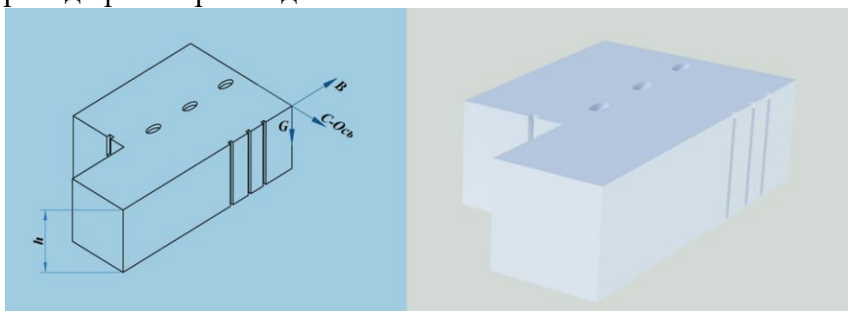


Рисунок 3. Структурная модель искусственного льда с ячейками рассола: Направление оси G совпадает с направлением роста ледяного покрова

Структурная модель льда с ячейками рассола включает в себя определенные параметры, такие как полуоси эллипсов, среднюю толщину ледяных пластин, среднее расстояние между ячейками рассола, среднюю длину ячеек рассола и толщину перегородок между ячейками, поскольку эти факторы существенно влияют на прочность льда на растяжение.

Несущая способность определяется (рисунок 4) у ИЛ как материала, если нагрузка от транспорта превышает допустимую, возникает риск локального разрушения покрова – трещин, проломов и тд.

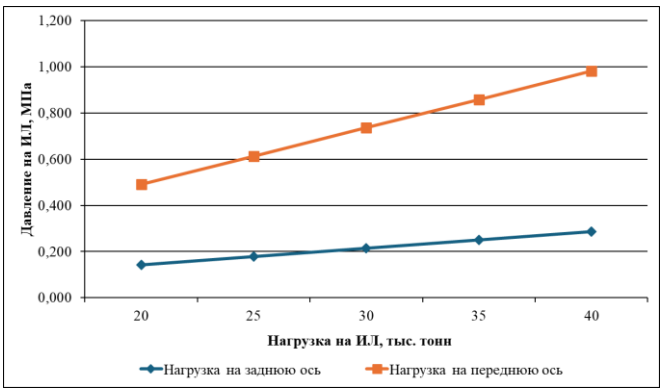


Рисунок 4. Гистограмма давления на ИЛ от нагрузки автотранспорта

В данной гистограмме применен автотранспорт, рассчитанный на 3 оси (одна передняя ось и две группы по две оси сзади); площадь контакта одного колеса с поверхностью дороги 0.06 м^2; распределения нагрузки на переднюю и заднюю ось выполнена в пропорции 30/70 %.

Распределение нагрузок по диаграмме позволяет минимизировать давление на единицу площади ИЛ. При использовании сдвоенного типа колес увеличивается площадь опоры, которая позволяет безопасно эксплуатировать АЛЗД.

Также при движении лесовозов возникают дополнительные силы, вызванные неровностями поверхности, ускорениями, торможениями и вибрациями, поэтому следует учитывать динамические нагрузки (рисунок 5).

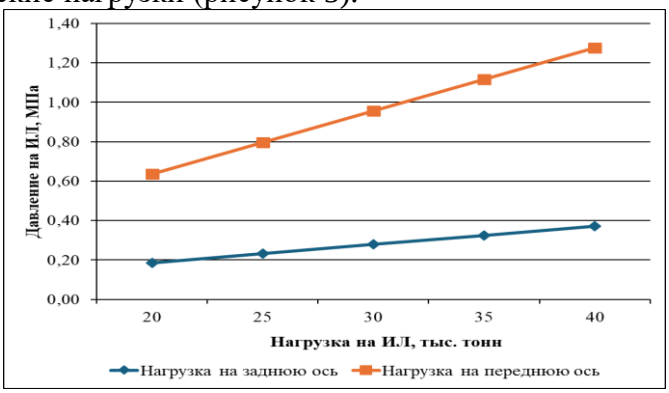


Рисунок 5. Гистограмма учета динамических нагрузок автотранспорта на ИЛ

Динамические нагрузки от движущегося транспорта, особенно тяжелогруженых машин, создают циклические напряжения, вызывающие разрушение льда, что требует учета коэффициента динамичности при проектировании толщины слоя. Моделирование распределения давления показало, что нагрузка от колесной техники концентрируется в локальных зонах, провоцируя образование радиальных трещин, которые при пересечении критической длины приводят к провалам. Для минимизации рисков применяется послойное намораживания льда с армированием синтетическими сетками, повышающими трещиностойкость покрытия на 15–20% [9].

Прочностные характеристики АЛЗД из ИЛ напрямую зависят от способности материала сопротивляться деформациям и разрушению под действием внешних нагрузок. При проведенном исследования необходимо учесть, что критическим параметром является предел прочности льда на сжатие, который зависит от температуры воздуха, наличия примесей и технологии замораживания воды. При температурах ниже –20°C ледовое полотно демонстрирует повышенную устойчивость, однако резкие перепады до –5°C приводят к снижению несущей способности на 30–40% из-за формирования микропор и трещин в структуре.

Для определения прочности слоев вводится формула

$$C_i = 0{,}5 \times \sqrt{T_{общ}} \times k_{ИЛ} \times k_{Д.О.} \times k_T \quad (2)$$

$T_{общ}$ – толщина льда; $k_{ИЛ}$ – коэффициент, зависящий от концентрации добавок; $k_{Д.О.}$ – коэффициент влияния древесных отходов (15 % массы раствора) (0,9); k_T – температурный коэффициент (таблица 2)

Также для расчета прочности мы используем послойное намораживания. В соответствии с выбранной технологией данная конструкция будет состоять из трех слоев с определенной температурой намораживания (таблица 2).

Таблица 2 – Определение температурного коэффициента для каждого слоя ледяной конструкции

Слои конструкции	1 слой	2 слой	3 слой
Температура С°	- 5	- 15	- 25
k_T	0,7	1	1,2

Примечание: Лед при понижении температуры становится более твердым и менее пластичным, что повышает его прочность на сжатие [8]. Однако при экстремально низких температурах (-30°С и ниже) хрупкость льда возрастает, что может снижать устойчивость к динамическим нагрузкам. В рамках исследуемого диапазона (-5°С до -25°С) прочность льда увеличивается с понижением температуры, что и учтено в коэффициентах. При -5°С низкая прочность из-за близости к точке замерзания; -15°С базовая прочность; - 25°С максимальная прочность.

Для определения минимальной толщины дорожного полотна при сохранении несущей способности используется принцип “эквивалентной прочности”, связывающий механические свойства материалов с геометрическими параметрами.

Эквивалент толщины определяется как несущая способность слоя пропорциональна кубу его толщины и модулю упругости материала:

$$P \propto E \times h^3$$

где: E — модуль упругости материала (ГПа); h — толщина слоя (см).

Технология с добавлением полилактида (PLA), который при введении в структуру льда выполняет функцию армирования. Основной механизм усиления заключается в образовании полимерной сетки, связывающей кристаллы льда и подавляющей рост трещин. Проведем расчет прочности ледяного слоя (таблица 3).

Таблица 3 – Определения прочности ледяного покрытия из PLA

Нагрузка тонн	Толщина чистого льда, ($H_{общ}$) см	Базовая прочность Слоя, МПа	Прочность слоев (Ci), МПа			Прочность льда (Rc), МПа
			1 слой	2 слой	3 слой	
20	61	3,9	2,9	4,2	5,0	4,6
25	72	4,2	4,0	5,7	6,8	6,2
30	83	4,5	4,3	6,1	7,4	6,7
35	94	4,8	4,0	5,7	6,8	6,1
40	105	5,1	4,2	6,0	7,2	6,5

По результатам расчета видно, что при концентрации в 5-7% прочность льда достигает максимальные значения, что позволяет выдерживать прикладываемую нагрузку на АЛЗД. При повышении 9% приводит к слипанию частиц полимера в крупные комки или скопления, что нарушает их равномерное распределение в структуре льда и снижению его прочности на 15–20%

По данным показателям прочности можно определить толщину льда (рисунок 6) при разных концентрациях добавок и увидеть зависимость ее изменения по сравнению с чистым льдом.

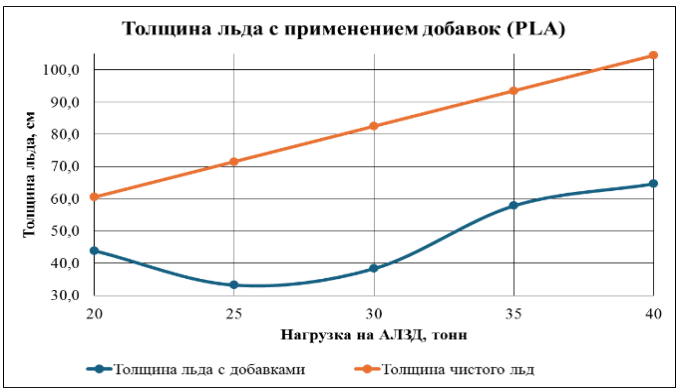


Рисунок 6. Определения толщины льда с применением добавок из PLA

Диаграмма отражает зависимость толщины ледяного покрытия от выбранной технологии модификации льда, внешних условий и эксплуатационных требований. Вертикальная ось показывает относительную толщину льда, где за базовый уровень принят чистый лед без добавок и моделируемый лед на основе добавок. При введение полимерных добавок (PLA) снижает требуемую толщину льда за счет формирования армирующего каркаса, повышающего структурную целостность материала.

Также можно рассмотреть зависимость изменения толщины льда если будет введена пиковая концентрация добавок 5-7% (рисунок 7) для всех моделируемых нагрузок у АЛЗД [9].

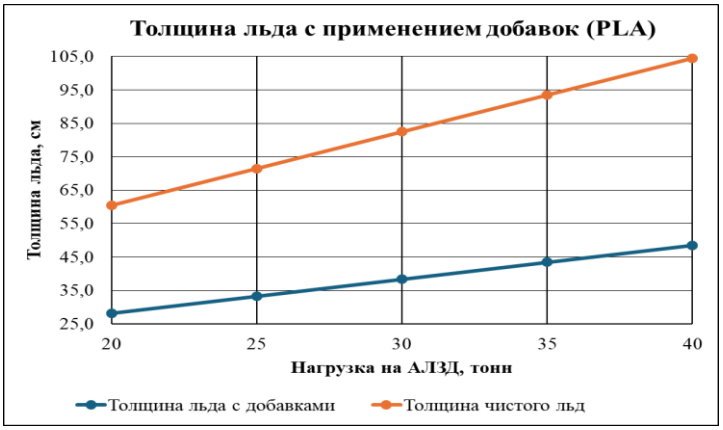


Рисунок 7. Толщина льда из PLA при концентрации 5-7%

По номограмме видно, что при добавлении пиковой концентрации 5-7% толщина льда достигает минимальных значений с учетом диапазона моделируемых нагрузках у АЛЗД.

Теперь произведем аналогичный расчет прочности (табл. 3.8) только с применением соли Хлорид калия (KCl)

Таблица 3.8 – Определения прочности ледяного покрытия из KCl

Нагрузка тонн	Толщина чистого льда, ($H_{общ}$) см	Базовая прочность слоя, МПа	Прочность слоев (Ci), МПа			Прочность льда (Rc), МПа
			1 слой	2 слой	3 слой	
20	61	3,9	2,7	3,9	4,6	4,2
25	72	4,2	2,9	4,2	5,0	4,6
30	83	4,5	3,1	4,5	5,4	4,9
35	94	4,8	3,4	4,8	5,7	5,2
40	105	5,1	3,5	5,1	6,1	5,5

Важно учесть, что на основе рассматриваемых исследований ранее [5] при низких концентрациях (3–5%) KCl уплотняет структуру льда, но при превышении 8% образуются рассолы, увеличивающие пористость, что негативно сказывается на прочность ледяного

покрытия. Поэтому для избегания негативного влияния рассолов в расчетах применена концентрация примесей 3-5%.

По расчетам видно (таблица 8), что прочность при использовании KCl по сравнению с PLA меньше, данный фактор влияет и на толщину ледяного слоя (рисунок 8).

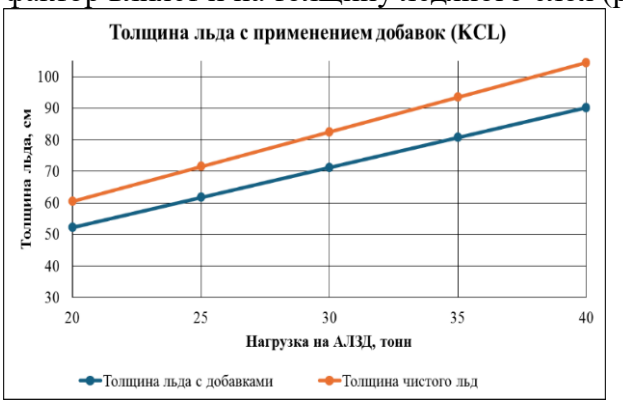


Рисунок 8. Толщина льда с добавлением KCl при 5% концентрации раствора

Толщина льда с добавлением KCl превышает толщину льда с PLA, так как хлорид калия, несмотря на частичное уплотнение структуры, формирует микропоры из-за рассолов, что требует увеличения объема для компенсации снижения прочности. Однако это толщина меньше, чем у чистого льда, поскольку KCl все же умеренно усиливает кристаллическую решетку, в отличие от незаполненных дефектов в чистом льде. В отличие от PLA, который армирует лед полимерной решеткой и кардинально снижает толщину льда, KCl лишь частично улучшает структуру чистого льда.

Преимущество данного метода возможность сокращения толщины дорожного полотна на 20–30% при сохранении несущей способности, что особенно актуально для регионов с экстремальными климатическими условиями.

Для оценки температурно-климатических изменений при строительстве АЛЗД на основе ИЛ учитывает температурный диапазон от – 30°C до – 5°C, характерных для данного округа, где даже незначительное потепление может привести к снижению прочности льда и деформации дорожного полотна.

Ее структура объединяет четыре специализированных модуля, связанными с тепловыми, механическими, циклическими и влажностными воздействиями.

Первым компонентом модели является модуль теплового анализа, предназначенный для оценки распределения температуры в слоях искусственного льда и скорости их промерзания.

$$\lambda_{тепл.} = \lambda_{лед} \times \left(1 + \alpha \times C_{добав.} + \beta \times C_{древ.отх.}\right)$$

где $\lambda_{лед}$ = 2.2 Вт/(м·К) — базовая теплопроводность льда, α — коэффициенты, учитывающие влияние добавок и древесных отходов (β=-0.05), снижающих теплопередачу, $C_{добав.}$ и $C_{древ.отх.}$ – концентрация и древесины с слое i (в долях от объема) [6, 7, 8, 11]. На основе этой зависимости рассчитывается скорость промерзания слоя по формуле:

$$\upsilon = \frac{\lambda_{тепл.} \times \left(T_{замерз} - T_{среда}\right)}{\rho \times L \times \Delta x}$$

где $T_{замерз.}$ — температура замерзания раствора, °C; ρ— плотность льда (чистый лед –917 кг/м³); L — удельная теплота плавления (чистый лед – 334 кДж/кг); Δx — толщина слоя, м.

При выборе материалов из ИЛ критически важно учитывать взаимосвязь между составом материала, его физическими свойствами и эксплуатационными характеристиками.

Для оценки теплопроводности искусственного льда с добавками (PLA, KCl, древесные отходы) используется модель последовательного соединения слоёв. Общая

теплопроводность ($\lambda_{общ.}$) рассчитывается через сумму термических сопротивлений каждого слоя по формуле:

$$\frac{1}{\lambda_{общ}} = \sum \frac{h_i}{\lambda_i}$$

В условиях низких температур для регионов СЗФО ключевым фактором при строительстве АЛЗД становится баланс между скоростью формирования льда и его эксплуатационной устойчивостью. Результаты комплексного анализа трёх технологий послойного намораживания, включая использование PLA, KCl и их комбинации, позволяют оценить влияние добавок на теплопроводность, динамику промерзания и общее время создания ледового покрытия (рисунок 9) [10, 12, 13].

По построенным номограммам определена интегральная визуализация параметров, отражающая преимущества и ограничения каждой технологии, а также климатические особенности Архангельской и Вологодской области.

Предложенная модель эффективной теплопроводности ИЛ основана на упрощенной линейной аппроксимации правила смесей, адаптированной для учета структурных изменений, вызванных добавками. Коэффициенты (α) (для PLA и KCl) и (β) (для древесных отходов) введены эмпирически, отражая экспериментально наблюдаемые эффекты: увеличение теплопроводности за счет уплотнения микроструктуры (PLA) и ее снижение из-за пористости (древесина). Для малых концентраций добавок (<10%) линейная модель согласуется с подходами, описанными в работах по композитным материалам [14], где теплопроводность аппроксимируется как сумма вкладов компонентов.

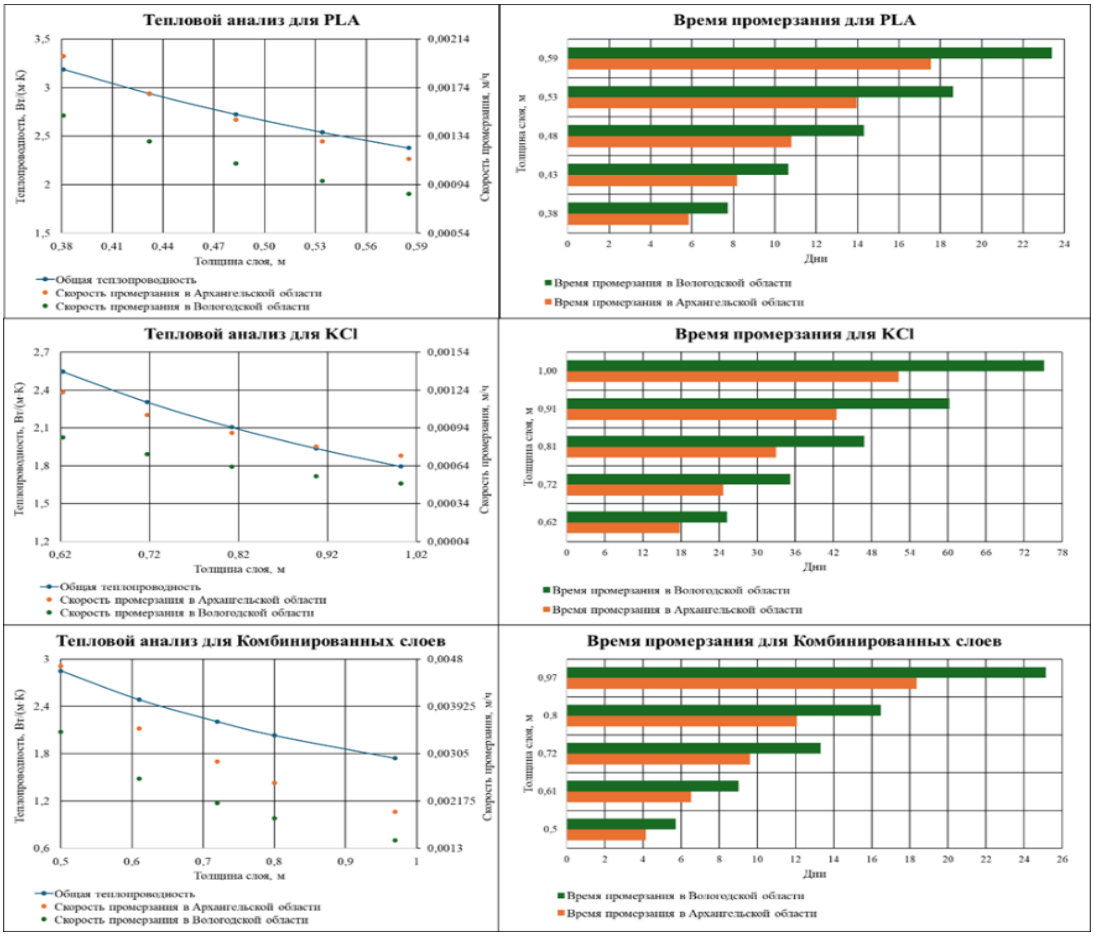


Рисунок 9. Сравнительная эффективность теплового анализа при формировании ИЛ для АЛЗД в пределах заданных регионов

Заключение

Проведённое исследование демонстрирует значительный потенциал применения ИЛ с модифицирующими добавками для создания АЛЗД в регионах с экстремальными климатическими условиями, на примере Архангельской области.

В дальнейшем планируется смоделировать трассу АЛЗД в AutoCAD Civil 3D на основе цифровой модели местности и провести точный расчет нагрузок от транспорта для верификации теоретических выводов и проектирования надёжной дорожной конструкции.

Список литературы

1. Андреев О.М., Иванов Б.В. Параметризация радиационных процессов в модели ледяного покрова // Метеорология и гидрология. 2001. № 2. С. 81–88.
2. Гончарова Г.Ю., Сиротюк В.В., Якименко О.В., Орлов П.В., Долгодворов Р.Е. Повышение несущей способности и безопасности ледовых автозимников с помощью армирования и модификации льда // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20. № 6 (94). С. 786-797.
3. Ипатов К.И., Васильев А.С., Земляк В.Л. Исследование влияния поверхностного армирования на несущую способность льда // Вычислительная механика сплошных сред. 2019. Т. 12. № 1. С. 98-105.
4. Методы армирования льда для создания ледяных и льдогрунтовых композитов / Васильев Н.К., Шаталина И.Н. // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2011. Т. 264. С. 119-129.
5. Морозова О.В. Комбинированные способы искусственного ослабления прочности льда на затороопасных участках рек с применением реагентной технологии // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-7. С. 1461-1465.
6. Николаева Е.А., Тимофеев А.Н., Михайловский К.В. Способы повышения коэффициентов теплопроводности полимеров и полимерных композиционных материалов // Информационно-технологический вестник. 2018. № 1(15). С. 156-168.
7. Пепинов Р.И., Гусейнов Г.М. Теплопроводность водных растворов хлористого калия при температурах 20 - 340 °С // Инженерно-физический журнал. Т. 60. № 5. С. 742.
8. Сабирова Г.А., Саерова К.В., Ефремов Д.Г. Исследование реологических свойств композита на основе PLA и древесного наполнителя // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований: сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф. (Саратов, 10 октября 2020 г.). Саратов: Цифровая наука, 2020. С. 44-46.
9. Симакина А.А. Исследование влияния вариации модуля Юнга в модели разрушения ледяной балки изгибом // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 4. Т. 1. С. 18-23.
10. Степанов К.А., Дмитревский Б.А. Влияние начальных параметров жидких противогололедных материалов на процесс вторичной кристаллизации // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2012. № 14(40). С. 32-35.
11. Эльдаров В.С. Теплопроводность водных растворов системы KCl-NaCl-CaCl2 при высоких температурах и давлениях // Теплофизика высоких температур. 2003. Т. 41. № 3. С. 381-385.
12. Jeon S., Kim Y. Numerical Simulation of Level Ice–Structure Interaction Using Damage-Based Erosion Model // Ocean Engineering. 2021. Vol. 220. P. 108485.
13. Petrenko V.F., Whitworth R.W. The physics of ice. Oxford: Oxford University Press, 1999. 384 p.
14. Tsekmes I.A., Kochetov R., Morshuis P.H.F., Smit J.J. Thermal conductivity of polymeric composites: a review // Proceedings of IEEE International Conference on Solid Dielectrics, ICSD. 2013. P. 678–681.

References

1. Andreev O.M., Ivanov B.V. Parametrizacia radiacionnih processov v modeli ledianigo pokrova // Metereologia i gidrologia. 2001. № 2. P. 81–88.
2. Goncharova G.J., Sirotjuk V.V., Jakimenko O.V., Orlov P.V., Dolgodvorov R.E. Povishenie nesushei sposobnosti i bezopasnosti ledovih avtozimnikov s pomoshiu armirivania i modificacii lda // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobilno-dorojnogo universiteta. 2023. Vol. 20. № 6 (94). P. 786-797.
3. Ipatov K.I., Vasiliev A.S., Zemliak V.L. Issledovanie vliania poverhnostnogo armirivania na nesushuju sposobnost' lda // Vichislitelnaya mehanika sploshnih sred. 2019. Vol. 12. № 1. P. 98-105.
4. Metody` armirovaniya l`da dlya sozdaniya ledyany`x i l`dogruntovy`x kompozitov / Vasil`ev N.K., Shatalina I.N. // Izvestiya Vserossijskogo nauchno-issledovatel`skogo instituta gidrotexniki im. B.E. Vedeneeva. 2011. Vol. 264. P. 119-129.
5. Morozova O.V. Kombinirovanny`e sposoby` iskusstvennogo oslableniya prochnosti l`da na zatoroopasny`x uchastkax rek s primeneniem reagentnoj texnologii // Fundamental`ny`e issledovaniya. 2014. № 9-7. P. 1461-1465.
6. Nikolaeva E.A., Timofeev A.N., Mixajlovskij K.V. Sposoby` povy`sheniya koe`fficientov teploprovodnosti polimerov i polimerny`x kompozicionny`x materialov // Informacionno-texnologicheskij vestnik. 2018. № 1(15). P. 156-168.
7. Pepinov R.I., Gusejnov G.M. Teploprovodnost` vodny`x rastvorov xloristogo kaliya pri temperaturax 20 - 340 °S // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. Vol. 60. № 5. P. 742
8. Sabirova G.A., Saerova K.V., Efremov D.G. Issledovanie reologicheskix svojstv kompozita na osnove PLA i drevesnogo napolnitelya // Novy`e impul`sy` razvitiya: voprosy` nauchny`x issledovanij: sb. st. IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Saratov, 10 oktyabrya 2020 g.). Saratov: Cifrovaya nauka, 2020. P. 44-46
9. Simakina A.A. Issledovanie vliyaniya variacii modulya Yunga v modeli razrusheniya ledyanoj balki izgibom // Morskie intellektual`ny`e texnologii. 2020. № 4. T. 1. S. 18-23.
10. Stepanov K.A., Dmitrevskij B.A. Vliyanie nachal`ny`x parametrov zhidkix protivogololedny`x materialov na process vtorichnoj kristallizacii // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo instituta (texnicheskogo universiteta). 2012. № 14(40). S. 32-35.
11. E`l`darov V.S. Teploprovodnost` vodny`x rastvorov sistemy` KCl-NaCl-CaCl2 pri vy`sokix temperaturax i davleniyax // Teplofizika vy`sokix temperatur. 2003. T. 41. № 3. S. 381-385
12. Jeon S., Kim Y. Numerical Simulation of Level Ice–Structure Interaction Using Damage-Based Erosion Model // Ocean Engineering. 2021. Vol. 220. P. 108485.
13. Petrenko V.F., Whitworth R.W. The physics of ice. Oxford: Oxford University Press, 1999. 384 p.
14. Tsekmes I.A., Kochetov R., Morshuis P.H.F., Smit J.J. Thermal conductivity of polymeric composites: a review // Proceedings of IEEE International Conference on Solid Dielectrics, ICSD. 2013. P. 678–681.

DOI: 10.58168/Forestry2025_639-645
УДК 678.762.9

ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ПРОПИТЫВАЮЩЕГО СОСТАВА ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИБУТАДИЕНА

Н.С. Никулина

к.т.н., доцент кафедры «Технических комплексов охраны и связи»,
Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний,
г. Воронеж, Россия

Аннотация. В статье исследуется модификация древесины берёзы с использованием олигомерных составов на основе побочных продуктов нефтехимии – 4-винилциклогексена, циклододекатриена и н-додекатетраена. Целью работы было улучшение эксплуатационных свойств древесины: снижение водопоглощения и разбухания, повышение прочности и биостойкости. Установлено, что на качество модификации наибольшее влияние оказывают температура пропиточного состава и содержание стирола. Полученные данные подтверждают перспективность использования отходов нефтехимии для создания эффективных защитных пропиток.

Ключевые слова: модифицированная древесина, олигомерные пропитки, побочные продукты нефтехимии, водопоглощение.

OBTAINING MODIFIED WOOD USING A BY-PRODUCT OF POLYBUTADIENE PRODUCTION AS AN IMPREGNANT COMPOSITION

N.S. Nikulina
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Technical Security and Communication Complexes,

Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service, Voronezh, Russia

Abstract. The article studies the modification of birch wood using oligomeric compounds based on petrochemical by-products – 4-vinylcyclohexene, cyclododecatriene and n-dodecatetraene. The aim of the work was to improve the performance properties of wood: reduce water absorption and swelling, increase strength and biostability. It was found that the quality of the modification is most affected by the temperature of the impregnation composition and the styrene content. The data obtained confirm the prospects of using petrochemical waste to create effective protective impregnations.

Keywords: modified wood, oligomeric impregnations, petrochemical by-products, water absorption.

Древесина и материалы на ее основе всегда активно использовались в различных направлениях – строительные материалы, производство мебели, создание декоративных элементов, спортивного инвентаря и современных композиционных материалов. Предпочтение к данному виду материала обусловлено уникальным сочетанием эксплуатационных и эстетических характеристик: хорошие теплоизоляционные свойства,

© Никулина Н. С., 2025

относительно низкой плотности при высокой механической прочности, красивая текстура и др. Однако широкое применение древесины в современных условиях ограничивается её гигроскопичностью, склонностью к усадке, набуханию и биологической уязвимости перед грибками, плесенью и насекомыми. Для улучшения эксплуатационных характеристик и продления срока службы материалам из древесины ведутся активные научные исследования связанные с разработкой различных технологических методов модификации древесины.

Химическая модификация позволяет кардинально улучшить эксплуатационные характеристики древесины, сделав ее конкурентоспособной с современными синтетическими материалами. Интерес к данному направлению обусловлен рядом преимуществ:

- использование химических составов, позволяет повысить устойчивость к биологическим повреждениям, а именно защитить от грибков, плесени, насекомых-вредителей и термитов;
- снижается гигроскопичности, которое заключается в уменьшении способности древесины впитывать влагу предотвращая при этом растрескивание, коробление и набухание;
- повышается прочность и износостойкость, путем упрочнения структуры древесины увеличивается ее сопротивление механическим нагрузкам, вибрациям и истиранию;
- увеличивается срок службы.

В ряде опубликованных работ показано использование составов на основе фосфорсодержащих и азотсодержащих соединений, а также силанов, силоксанов, парафинов [1-10]. Использование составов на основе фосфорсодержащих и азотсодержащих соединений позволяет повысить огнестойкость древесины, снижая её горючесть и дымообразование. Силаны и силоксаны обеспечивают гидрофобизацию, защищая дерево от влаги, гниения и биологического разрушения. Парафины и воски создают поверхностную защиту, улучшают внешний вид и применяются для декоративной отделки. Однако на ряду с достоинствами данные составы имеют свои недостатки. Составы на основе фосфорсодержащих соединений легко вымываются при контакте с водой, коррозионная активность по отношению к металлическим элементам и потенциальная токсичность продуктов горения. Силаны и силоксаны имеют высокую стоимость, требуют строгого соблюдения технологии нанесения, а избыточная гидрофобизация может нарушить паропроницаемость древесины. Парафины и воски обладают низкой долговечностью, легко стираются и ухудшают адгезию лакокрасочных материалов. В связи с этим ключевая задача в данном направлении – разработка универсальных составов, путем комбинирования различных веществ, а также поиск новых добавок и пропиток.

Интерес в этом плане представляют составы на основе отходов нефтехимии. Разработки в данном направлении позволяют создавать антипирены, гидрофобизаторы или упрочняющие агенты из вторичного сырья, решая экологические проблемы и расширяя ресурсную базу промышленности.

Одним из перспективных направлений в нефтехимической промышленности является синтез синтетических каучуков путем полимеризации диеновых углеводородов, с применением каталитических систем Циглера–Натта. Этот процесс сопровождается образованием побочных продуктов — димеров, тримеров и иных низкомолекулярных соединений. На стадии выделения каучука из реакционной среды методом дегазации получают углеводородную смесь, включающую непрореагировавший мономер, растворитель и летучие побочные компоненты. После конденсации указанная фракция направляется на очистку путем ректификационной перегонки, позволяющей разделить компоненты. Основными побочными продуктами в производстве бутадиенового каучука являются 4-винилциклогексен (ВЦГ), циклододекатриен-1,5,9 (ЦДТ) и н-додекатетраен-2,4,6,10 (НДТ). Кроме того, ВЦГ образуется в качестве побочного соединения в других технологических процессах, связанных с использованием бутадиена-1,3 [11,12].

В исследовании использовался кубовый остаток очистки возвратного растворителя – толуола производства бутадиенового каучука, содержащего ~ 47 % ВЦГ и ~ 18 % ЦДТ, НДТ и других высококипящих соединений. Получение полимерных материалов на основе стирола и побочных продуктов производства бутадиенового каучука осуществляли следующим образом. В ходе эксперимента в реактор последовательно вводили 100 г углеводородной шихты с варьирующим содержанием стирола и 25 г катализаторов на основе природных глин Латнинского месторождения Воронежской области (марки ЛТ-1, ЛТ-2, ЛТ-3). Для обеспечения сопоставимых условий проведения реакции концентрацию полимеризуемых компонентов (стирол, 4-винилциклогексен, циклододекатриен-1,5,9, н-додекатетраен-2,4,6,10 и других) во всех вариантах поддерживали на уровне ~50 % за счет добавления рассчитанного объема толуола в исходную смесь. Такой подход позволил исключить влияние концентрационного фактора на кинетику полимеризации и характеристики получаемых полимерных материалов, синтезированных из побочных продуктов производства бутадиенового каучука и стирола. Реактор герметично закрывали, и процесс проводили при 165±2 ^{0}C в течение 24 часов с отбором проб через определенные промежутки времени и определением в них содержания полимерного материала гравиметрическим способом (по сухому остатку, оставшемуся после удаления растворителя и других низкокипящих продуктов).

Оценку эффективности использования олигомерного состава осуществляли на образцах древесины березы размером 20×20×30 мм. В пропиточную ванну загружали ксилольный раствор синтезированного олигомера (сухой остаток 60-70 %) и нагревали до заданной температуры. После этого погружали образцы березы и выдерживали в течение одного часа. Далее образцы древесины извлекали из ванны и подвергали термообработке. Содержания в древесине полимерного материала определялось гравиметриическим методом.

Изучение процесса модификации образцов древесины березы проводили с использованием планирования эксперимента по схеме греко-латинского квадрата четвертого порядка (4×4) [12].

В качестве ключевых параметров, определяющих эффективность процесса модификации, были выбраны следующие факторы:

- фактор A – температура пропиточного состава (уровни: 60, 80, 100, 120 ^{0}C);
- фактор B – содержание стирола в мономерной смеси, используемой для синтеза полимерных модификаторов (уровни: 50, 60, 80, 90 %);
- фактор C – температура термообработки образцов (уровни: 100, 120, 140, 160 ^{0}C);
- фактор D – продолжительность термообработки (уровни: 1, 3, 5, 7 часов).

В качестве целевых характеристик (функций отклика) определены:

- водопоглощение древесины;
- разбухание в радиальном направлении;
- разбухание в тангенциальном направлении.

После обработки экспериментальных результатов с использованием вычислительных средств были получены уравнения регрессии, описывающие влияние этих четырех факторов на водостойкость образцов древесины березы через 1 и 30 суток испытания:

через 1 сутки:

- для водопоглощения, %

$Y_{водопогл.} = 9{,}69\cdot10^{-5}\cdot(27{,}0 - 5{,}75\cdot10^{-2}\cdot a)\cdot(30{,}1 - 0{,}118\cdot b)\cdot(26{,}2 - 3{,}35\cdot10^{-2}\cdot c)\cdot(25{,}1 - 0{,}8\cdot d)$;

- для разбухания в радиальном направлении, %

$Y_{радиал.} = 1{,}078\cdot10^{-2}\cdot(6{,}91 - 2{,}6\cdot10^{-2}\cdot a)\cdot(5{,}49 - 1{,}36\cdot10^{-2}\cdot b)\cdot(5{,}375 - 6{,}5\cdot10^{-3}\cdot c)\cdot(25{,}1 - 0{,}8\cdot10^{-2}\cdot d)$;

- для разбухания в тангенциальном направлении, %

$Y_{тангенц.} = 3{,}75 \cdot 10^{-3} \cdot (9{,}54 – 3{,}4 \cdot 10^{-2} \cdot a) \cdot (7{,}91 – 2{,}09 \cdot 10^{-2} \cdot b) \cdot (9{,}67 – 2{,}47 \cdot 10^{-2} \cdot c) \cdot (7{,}23 – 0{,}194 \cdot d)$

через 30 суток:

- для водопоглощения, %

$Y_{водопогл.} = 3{,}628 \cdot 10^{-6} \cdot (70{,}74 – 6{,}26 \cdot 10^{-2} \cdot a) \cdot (74{,}38 - 0{,}132 \cdot b) \cdot (68{,}0 – 2{,}23 \cdot 10^{-2} \cdot c) \cdot (65{,}8 – 0{,}177 \cdot d)$;

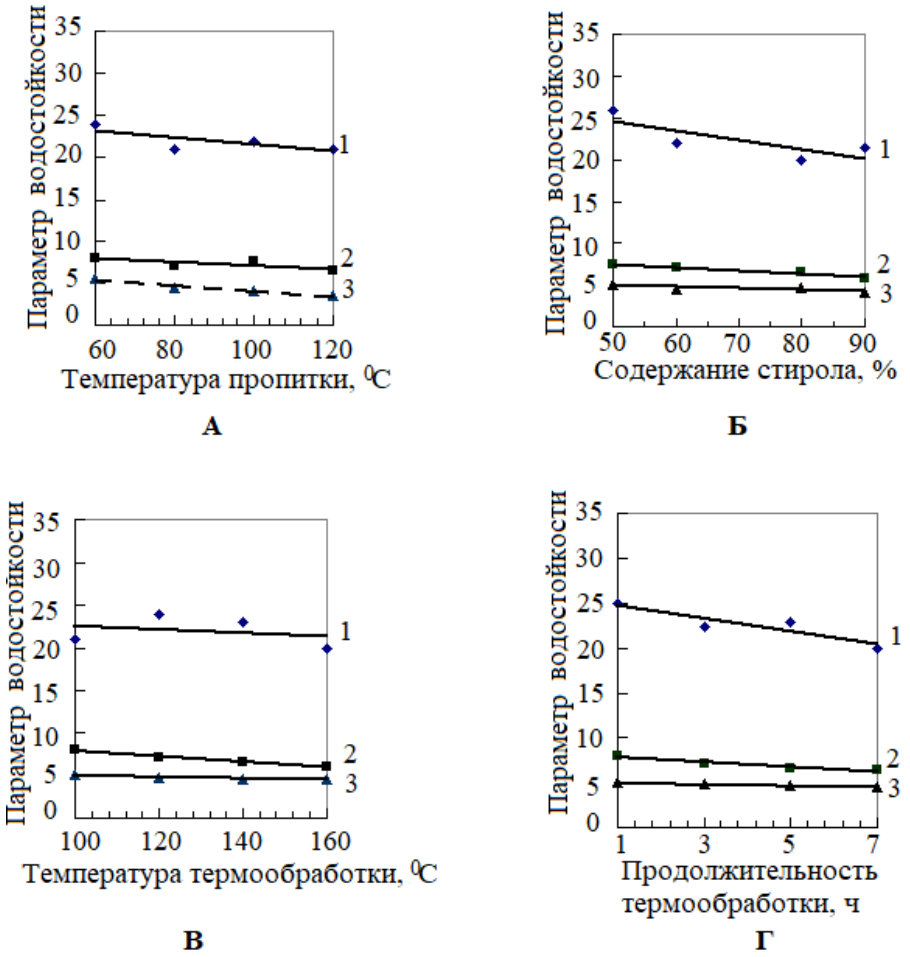
- для разбухания в радиальном направлении, %

$Y_{радиал.} = 3{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot (8{,}52 – 2{,}3 \cdot 10^{-2} \cdot a) \cdot (9{,}2 – 3{,}93 \cdot 10^{-2} \cdot b) \cdot (7{,}59 – 8{,}95 \cdot 10^{-3} \cdot c) \cdot (6{,}83 – 0{,}103 \cdot d)$;

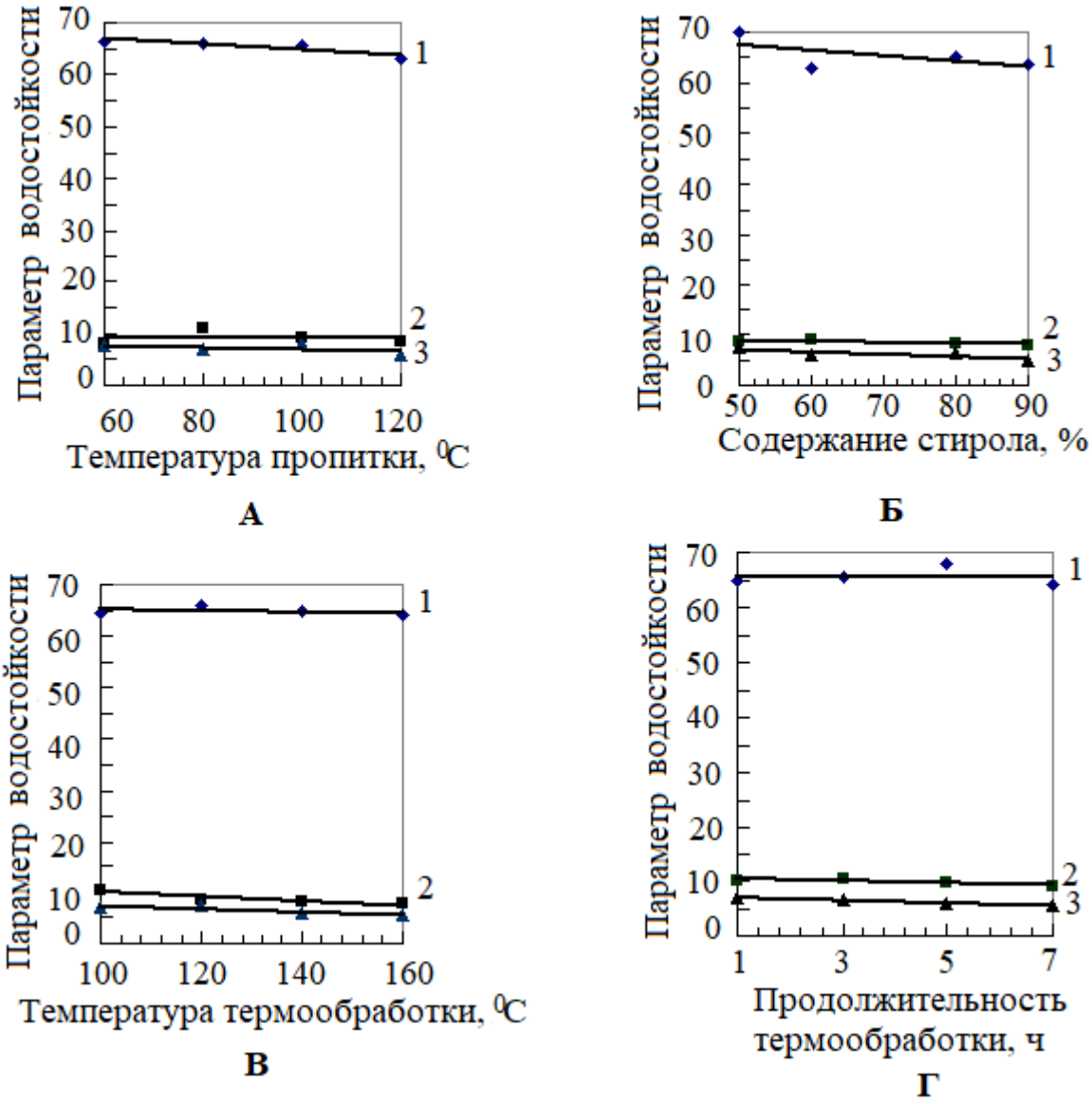
- для разбухания в тангенциальном направлении, %

$Y_{тангенц.} = 1{,}52 \cdot 10^{-3} \cdot (9{,}68 – 1{,}075 \cdot 10^{-2} \cdot a) \cdot (10{,}06 – 1{,}94 \cdot 10^{-2} \cdot b) \cdot (11{,}81 – 2{,}38 \cdot 10^{-2} \cdot c) \cdot (9{,}32 – 0{,}155 \cdot d)$

На рис. 1, 2 представлены результаты основных показателей (водопоглощение, разбухание) для древесины березы, обработанной низкомолекулярным полимерным материалом на основе побочных продуктов производства бутадиенового каучука, которые показывают, что наиболее существенное влияние на свойства модифицированной древесины оказывает температура пропитывающего состава и содержание стирола в исходной мономерной смеси. Значительно меньшее влияние оказывает температура и продолжительность термообработки.



Фактор А – температура пропиточного состава (Тп, ^{0}С); фактор Б – содержание стирола в исходной мономерной смеси (С, %); фактор В – температура термообработки (Тт,^{0}С); фактор D – продолжительности термообработки (t, ч); 1 – водопоглощение (%); 2 – разбухание в тангенциальном направлении (%); 3 – разбухание в радиальном направлении (%). Продолжительность испытания 1 сутки. Рисунок 1 – зависимость среднегеометрических значений (Сг) факторов



Фактор А – температура пропиточного состава (Тп, ^{0}С); фактор Б – содержание стирола в исходной мономерной смеси (С, %); фактор В – температура термообработки (Тт,^{0}С); фактор D – продолжительности термообработки (t, ч); 1 – водопоглощение (%); 2 – разбухание в тангенциальном направлении (%); 3 – разбухание в радиальном направлении (%). Продолжительность испытания 30 суток.

Рисунок 2 – зависимость среднегеометрических значений (Сг) факторов

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что наилучшими значениями факторов, обеспечивающих наименьшее водопоглощение и разбухание для образцов древесины березы являются: температура пропиточного состава – 120 ^{0}С; содержание стирола в исходной смеси мономеров – 90 %; температура термообработки – 160 ^{0}С; продолжительность термообработки – 7 ч.

Положительное влияние повышенного содержания стирольного фрагмента в макромолекулах пропитывающего полимерного материала объясняется тем, что в стироле практически отсутствуют как таковые двойные связи, повышающие гидрофильные свойства полимерам. Это приводит к возрастанию его гидрофобных свойств.

Сравнение экспериментальных и расчетных значений, полученных по вышеприведенным уравнениям, показывает на вполне удовлетворительную их сходимость (табл.1).

Таблица 1 - Сравнение расчетных и экспериментальных значений модифицированных образцов древесины

Условия модификации				Показатель Расчет / эксперимент		
Температура пропиточного состава, ^{0}C	Содержание стирола в исходной смеси, %	Температура термообработки, ^{0}C	Продолжительность термообработки, ч	Водопоглощение, %	Разбухание в радиальном направлении, %	Разбухание в тангенциальном направлении, %
120	90	160	7	20,2 / 21,8	3,3 / 3,7	4,1 / 5,0
120	90	160	7	59,6 / 66,4	4,3 / 5,2	7,0 / 7,9

Примечание: первая строка - продолжительность испытания 1 сутки;
вторая строка - продолжительность испытания 30 суток

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что модификация древесины березы с использованием олигомерного состава на основе побочных продуктов производства бутадиенового каучука позволяет значительно улучшить её эксплуатационные характеристики. В работе показано, что оптимальные параметры процесса модификации — температура пропиточного состава 120 °C, содержание стирола в исходной мономерной смеси — 90 %, температура термообработки — 160 °C и продолжительность термообработки — 7 часов — обеспечивают минимальное водопоглощение и разбухание древесины.

Установлено, что повышение содержания стирольных компонентов в полимерном составе способствует увеличению гидрофобности древесины, так как стирол практически не содержит двойных связей, которые могут повышать гидрофильность полимера. Это, в свою очередь, улучшает водоотталкивающие свойства модифицированной древесины.

Анализ полученных регрессионных моделей подтвердил их удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными, что свидетельствует об адекватности выбранных методов исследования и возможности практического применения разработанной технологии для модификации древесины. Предложенный подход позволяет эффективно использовать отходы нефтехимического производства, решая одновременно экологические и экономические задачи, а также расширяя ресурсную базу для создания новых полимерных материалов.

Таким образом, результаты работы открывают перспективы для дальнейшей разработки и внедрения технологий глубокой переработки побочных продуктов нефтехимии в производстве модифицированной древесины с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Список литературы

1. Беляева Е. Ю., Ширяев В. П. Химическая модификация древесины для повышения её эксплуатационных характеристик / Химия растительного сырья. 2017. №3. С. 7–15.

2. Смирнова Т. И., Николаев А. С. Применение полимерных композиций для модификации древесины / Древесина и химия. 2019. №2. С. 33–39

3. Карпов А. И., Суханова Н. В. Новые подходы к созданию защитных составов для древесины на основе органосиланов / Лесной вестник. 2020. Т. 24. №4. С. 45–51.

4. Михайлов П.А. Исследование эффективности фосфорсодержащих антипиренов для древесины. Химия растительного сырья. 2020. № 2. С. 45–52.

5. Hill C.A.S. Hydrophobic treatment of wood using silane-based formulations. Holzforschung, 2010. 64(3). С. 305–311.

6. Xie Y. Nano-enabled coatings for wood protection. Progress in Organic Coatings. 2013. 76(11). P. 1483–1492.

7. Петров И.С. Использование органосиланов для гидрофобизации древесины. Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 4. С. 22–28.

8. Tjeerdsma B.F. Characterisation of thermally modified wood: Molecular changes. Holz als Roh- und Werkstoff. 1998. 56(3). Pp. 157–162.

9. Kamdem, D.P. Durability of wood treated with paraffin wax. Forest Products Journal. 2002. 52(9). Pp. 56–61.

10. Горбунова Е.В. Экологически безопасные пропитки для древесины. Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 89–95.

11. Кроль В.А., Ривин Э.М., Щербань Г.Т. Свойства и применение диеновых олигомеров. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1984. 41 с.

12. Никулин С.С., Шеин В.С., Злотский С.С., Черкашин М.И., Рахманкулов Д.Л. Отходы и побочные продукты нефтехимических производств – сырье для органического синтеза. М.: Химия. 1989. 240 с.

References

1. Belyaeva E. Yu., Shiryaev V. P. Chemical modification of wood to improve its performance characteristics / Chemistry of plant raw materials. 2017. No. 3. Pp. 7–15.

2. Smirnova T. I., Nikolaev A. S. Application of polymer compositions for wood modification / Wood and chemistry. 2019. No. 2. Pp. 33–39

3. Karpov A. I., Sukhanova N. V. New approaches to the creation of protective compositions for wood based on organosilanes / Lesnoy Vestnik. 2020. Vol. 24. No. 4. Pp. 45–51.

4. Mikhailov P. A. Study of the effectiveness of phosphorus-containing flame retardants for wood. Chemistry of plant raw materials. 2020. No. 2. Pp. 45–52.

5. Hill C.A.S. Hydrophobic treatment of wood using silane-based formulations. Holzforschung, 2010. 64(3). Pp. 305–311.

6. Xie Y. Nano-enabled coatings for wood protection. Progress in Organic Coatings. 2013. 76(11), Pp.1483–1492.

7. Petrov I.S. Use of organosilanes for wood hydrophobization. Woodworking industry. 2021. No. 4. Pp. 22–28.

8. Tjeerdsma B.F. Characterisation of thermally modified wood: Molecular changes. Holz als Roh- und Werkstoff. 1998. 56(3). Pp. 157–162.

9. Kamdem, D.P. Durability of wood treated with paraffin wax. Forest Products Journal. 2002. 52(9). Pp. 56–61.

10. Gorbunova E.V. Environmentally friendly impregnations for wood. Chemistry of plant raw materials. 2022. No. 1. Pp. 89–95.

11. Krol V.A., Rivin E.M., Shcherban G.T. Properties and application of diene oligomers. Moscow: TsNIITEneftekhim. 1984. 41 p.

12. Nikulin S.S., Shein V.S., Zlotsky S.S., Cherkashin M.I., Rakhmankulov D.L. Waste and by-products of petrochemical industries – raw materials for organic synthesis. Moscow: Chemistry. 1989. 240 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_646-652
УДК 630:62-91

РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ГИДРОПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРА, СНАБЖЁННОГО МАГНИТНЫМ ДЕМПФИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

А.А. Полумиско
аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин,
ассистент кафедры общей и прикладной физики,
Н.С. Камалова
к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры общей и прикладной физики,
И.Д. Евсиков
аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация. В статье представлены базовые рекуррентные соотношения для разработки технологии расчета кинематических и динамических характеристик рабочих процессов гидропривода механизма подъёма стрелы лесного манипулятора с магнитным демпфирующим устройством. Соотношения получены для решения системы дифференциальных уравнений физико-математической модели, описывающей динамику и кинематику стрелы, изменение давления рабочей жидкости в гидроприводе и работу магнитного демпфера.

Ключевые слова: гидропривод, манипулятор, магнитное демпфирующее устройство, физико-математическая модель.

CALCULATION OF KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF WORKING PROCESSES OF A HYDRAULIC DRIVE OF A MANIPULATOR EQUIPPED WITH A MAGNETIC DAMPING DEVICE

A.A. Polumisko
Postgraduate Student of the Forestry Mechanization and Machine Design Department, Assistant of the General and Applied Physics Department,
N.S. Kamalova
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Associate Professor of the General and Applied Physics Department,
I.D. Evsikov
Postgraduate Student of the Forestry Mechanization and Machine Design Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The article presents basic recurrence relations for developing a technology for calculating the kinematic and dynamic characteristics of the hydraulic drive of a forestry crane boom lift mechanism with a magnetic damper. These relations are derived for solving a system of differential equations within a physical and mathematical model describing the boom dynamics and kinematics, changes in hydraulic fluid pressure in the hydraulic drive, and the operation of the magnetic damper.

© Полумиско А. А., Камалова Н. С., Евсиков И. Д., 2025

Keywords: hydraulic drive, manipulator, magnetic damping device, physical and mathematical model.

В настоящий момент активно развивается математическое моделирование динамики кинематических параметров, характеризующих работу и движение основных узлов гидроприводов лесных манипуляторов. Особое внимание в [4] уделено математической модели механизма подъёма стрелы, включающей гидропневматический демпфер, позволяющий снизить скачки давления рабочей жидкости в гидроприводе автосортиментовозов. В работе [5] описан лабораторный стенд с измерительной аппаратурой, с помощью которого были проведены экспериментальные исследования динамики гидропривода опорно-поворотного механизма. Статья [8] представляет результаты по усовершенствованию конструкции гидропривода поворотного механизма колонны, сопровождаемое разработкой математической модели его функционирования. В [9] используются методы имитационного моделирования для оценки рабочих процессов лесных машин и доказывается эффективность применения демпфирующих компонентов в лесных машинах. В статье [7] рассмотрена модернизация механизма поворота колонны манипулятора Атлант С100, предложена изолированная схема с гидроаккумулятором, не связанная с насосом, позволяющая рекуперировать энергию, расчёты выполнены в среде SimInTech. Обобщённый анализ в [3] охватывает существующие разработки в области гидросистем тяжёлых машин, подчёркивая необходимость комплексного подхода к расчету динамических нагрузок. В работе [2] было предложено использовать магнитное демпфирующее устройство для уменьшения ударных нагрузок в процессе работы гидропривода механизма подъёма стрелы лесного манипулятора. Гидрокинематическая схема модернизированного механизма подъема стрелы показана на рисунке 1, геометрия её движения изображена на рисунке 2.

Целью данной работы была разработка рекуррентных соотношений для решения системы уравнений физико-математической модели, описывающих динамику и кинематику стрелы лесного манипулятора, изменение давления рабочей жидкости в гидроприводе и работу магнитного демпфирующего устройства.

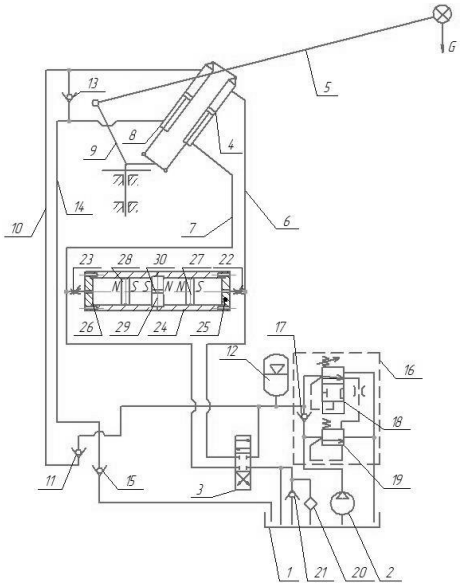


Рисунок 1 – Гидрокинематическая схема механизма подъема стрелы манипулятора с магнитным демпфером [2].

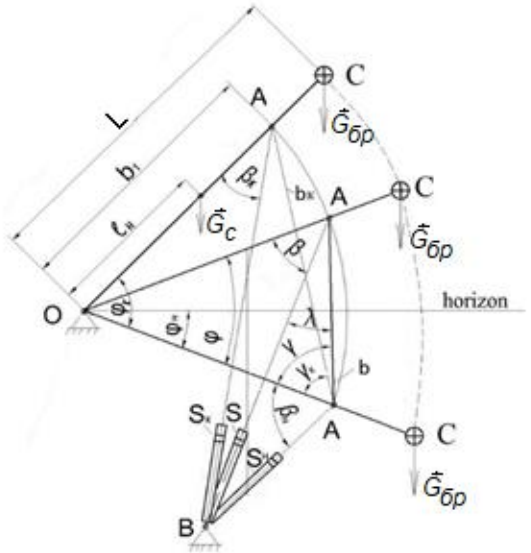


Рисунок 2 – Геометрия движения стрелы манипулятора [2].

Согласно классической механике [1], уравнение динамики вращательного движения стрелы в процессе подъёма груза лесным манипулятором примет вид:

$$\left(J_{\text{бр}} + J_{\text{с}}\right)\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{\pi d_{\text{с}}^2 b_1 \sin\beta}{4}p - \left(G_{\text{бр}}L + G_{\text{с}}l_{\text{н}}\right)\cos\varphi, \quad (1)$$

где φ – угловая координата стрелы относительно первоначального положения, рад; $J_{\text{бр}}$ – момент инерции груза относительно оси вращения стрелы, проходящей через точку О, кг·м^2; $J_{\text{с}}$ – момент инерции стрелы относительно точки О, кг·м^2; $d_{\text{с}}$ – внутренний диаметр гидроцилиндра подъёма стрелы, м; b_1 – расстояние от оси вращения до точки крепления к стреле штока гидроцилиндра подъёма, м; p – давление рабочей жидкости в гидросистеме, Па; $G_{\text{бр}}$ и $G_{\text{с}}$ – силы тяжести груза в захвате и стрелы соответственно, Н; L – длина стрелы манипулятора, м; $l_{\text{н}}$ – положение центра масс стреловой группы относительно точки О, м; угол β является функцией угла φ и определяется из следующих выражений, записанных на основе представленной на рисунке 2 геометрии движения стрелы:

$$\beta = \gamma - \lambda,$$
$$\lambda = arcsin\left(\frac{S_{\text{н}}}{S}sin(\beta_{\text{н}} + \gamma)\right),$$
$$S^2 = b^2 + S_{\text{н}}^2 - 2bS_{\text{н}}cos(\beta_{\text{н}} + \gamma),$$
$$b = 2b_1 sin\left(\frac{\varphi}{2}\right),$$
$$\beta_{\text{н}} = arccos\left(\frac{b_{\text{к}}^2 + S_{\text{н}}^2 - S_{\text{к}}^2}{2b_{\text{к}}S_{\text{н}}} - \gamma_{\text{к}}\right),$$
$$b_{\text{к}} = 2b_1 sin\left(\frac{\varphi_{\text{к}}}{2}\right),$$
$$\gamma_{\text{к}} = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi_{\text{к}}}{2},$$
$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2},$$

где $S_{\text{н}}$ и $S_{\text{к}}$ – начальное и конечное значение длины гидроцилиндра с выдвинутым штоком, м; $\varphi_{\text{н}}$ и $\varphi_{\text{к}}$ – начальная и конечная величина угла φ, м.

Уравнение расхода рабочей жидкости в гидроприводе механизма подъема стрелы имеет вид:

$$q_{\text{н}}n_{\text{н}} = \frac{\pi d_{\text{с}}^2 L \sin\beta}{4}\cdot\frac{d\varphi}{dt} + \mu A_{\text{др}}\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} + a_y p + K_p\cdot\frac{dp}{dt}, \quad (2)$$

где $q_{\text{н}}$ – рабочий объём гидронасоса, $\frac{\text{м}^3}{\text{об}}$; $n_{\text{н}}$ – частота вращения гидронасоса, $\frac{\text{об}}{\text{с}}$; $A_{\text{др}}$ – площадь отверстия дросселя, м^2; μ – коэффициент расхода жидкости; Δp – перепад давления на дросселе, Па; ρ – плотность рабочей жидкости, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; a_y – коэффициент утечек в гидросистеме, $\frac{\text{м}^3}{\text{Па·с}}$; K_p – коэффициент податливости упругих элементов гидропривода, $\frac{\text{м}^5}{\text{Н}}$.

Запишем уравнение динамики поступательного движения поршня в корпусе демпфера:

$$m_{\text{д}}\frac{d^2x_{\text{п}}}{dt^2} = pA_{\text{п}} - \frac{B_r^2 A_{\text{п}}}{2\mu_0}\left(\frac{1}{(x_{\text{п}}+y)^2} - \frac{1}{x_{\text{п}}^2}\right) - k_{\text{д}}\frac{dx_{\text{п}}}{dt}, \quad (3)$$

где $m_{\text{д}}$ – масса плунжера демпфера, кг; $A_{\text{п}}$ – площадь сечения магнита, м^2; B_r – индукция магнитного поля, Тл; $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}\ \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$; $x_{\text{п}}$ – ход поршня (текущее расстояние между магнитами), м; y – длина магнита, м; $k_{\text{д}}$ – коэффициент вязкого трения подвижного поршня демпфера, $\frac{\text{Н·с}}{\text{м}}$.

Перепишем уравнение (1) для угловой скорости вращения стрелы ω:

$$\left(J_{\text{бр}} + J_{\text{с}}\right)\frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi d_{\text{с}}^2 b_1 \sin\beta}{4}p - \left(G_{\text{бр}}y + G_{\text{с}}l_{\text{н}}\right)\cos\varphi. \quad (4)$$

Аналогично перепишем уравнение (2) для ω:

$$q_{\text{н}}n_{\text{н}} = \frac{\pi d_{\text{с}}^2 L\ \sin\beta}{4}\cdot\omega + \mu A_{\text{др}}\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} + a_y p + K_p\cdot\frac{dp}{dt}. \quad (5)$$

В уравнении (3) введём формулу, описывающую перепад давления:

$$\Delta p = \frac{D_Д^4 \rho}{2\mu^2 d_{др}^4} \cdot \upsilon_п^2. \quad (6)$$

Тогда (3) примет вид:

$$m\ \frac{d\upsilon_п}{dt} = \frac{\pi D_Д^2}{4}\left(p - \frac{D_Д^4 \cdot \rho}{2\mu^2 d_{др}^4} \cdot \upsilon_п^2\right) - F(x_п) - k\upsilon_п. \quad (7)$$

Учитывая, что сила отталкивания магнитов F равна

$$F = \frac{B_r^2 A_п}{2\mu_0}\left(\frac{1}{(x_п+y)^2} - \frac{1}{x_п^2}\right), \quad (8)$$

перепишем (3) следующим образом:

$$m\frac{d^2 x_п}{dt^2} = \frac{\pi D_Д^2}{4}\left(p - \frac{D_Д^4 \cdot \rho}{2\mu^2 d_{др}^4} \cdot \left(\frac{dx_п}{dt}\right)^2\right) - \frac{B_r^2 A_п}{2\mu_0}\left(\frac{1}{(x_п+y)^2} - \frac{1}{x_п^2}\right) - k\,\frac{dx_п}{dt}. \quad (9)$$

Преобразуем (2), введя определение Δp из (6), тогда с учётом $A_{др} = \frac{\pi d_{др}^2}{4}$ получим:

$$q_н n_н = \frac{\pi d_c^2 L\ \sin\beta}{4} \cdot \omega + \frac{\pi}{4}\frac{D_Д^2 \cdot \upsilon_п}{\cdot d_{др}^2} + a_y p + K_p \cdot \frac{dp}{dt}. \quad (10)$$

Учитывая произведённые подстановки и полученные соотношения (9) и (10), перепишем систему уравнений (1) – (3) в виде:

$$\begin{cases} \left(J_{бр} + J_c\right)\frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi d_c^2 b_1 \sin\beta}{4} p - \left(G_{бр} L + G_c l_н\right)\cos\varphi\,, \\ q_н n_н = \frac{\pi d_c^2 l\ \sin\beta}{4} \cdot \omega + \frac{\pi}{4}\frac{D_Д^2 \cdot \upsilon_п}{\cdot d_{др}^2} + a_y p + K_p \cdot \frac{dp}{dt}, \\ m\frac{d^2 x_п}{dt^2} = \frac{\pi D_Д^2}{4}\left(p - \frac{D_Д^4 \cdot \rho}{2\mu^2 d_{др}^4} \cdot \left(\frac{dx_п}{dt}\right)^2\right) - \frac{B_r^2 A_п}{2\mu_0}\left(\frac{1}{(x_п+L)^2} - \frac{1}{x_п^2}\right) - k\,\frac{dx_п}{dt}. \end{cases} \quad (11)$$

Для численного решения замкнутой системы дифференциальных уравнений (11) применяется метод Ньютона (в касательной или, по существу, явной форме Эйлера) с дискретизацией по времени [6]. Ниже приведены начальные условия и рекуррентные формулы, позволяющие по значениям на предыдущем временном шаге t_{i-1} получить решение на текущем шаге $t_i = t_{i-1} + dt$:

$$\omega_0 = 0;\ p_0 = \frac{4\left(G_{бр} L + G_c l_н\right)\cos\varphi_н}{\pi d_c^2 b_1 \sin\beta(\varphi_н)};\ v_{0_п} = 0;\ x_{0д} = 0{,}03;\ \varphi_0 = \varphi_н;\ t_0 = 0. \quad (12)$$

Значение p_0 в (12) определяется из статического условия равновесия по моментам для заданного начального угла $\varphi_н$, обеспечивая начальное состояние без ускорений. Остальные переменные предполагаются равными нулю, что соответствует запуску системы из состояния покоя без предшествующих переходных процессов.

Численное интегрирование первого уравнения из системы (11) можно реализовать через производную угловой скорости, которая рассчитывается на основе текущего значения давления и угла:

$$d\omega_i = \frac{dt}{\left(J_{бр}+J_c\right)}\left(\frac{\pi d_c^2 b_1 \sin\beta(\varphi_{i-1})}{4} p_{i-1} - \left(G_{бр} L + G_c l_н\right)\cos\varphi_{i-1}\right). \quad (13)$$

В (13) гидравлический момент, создаваемый давлением p_{i-1}, противопоставляется моменту тяжести стрелы и груза. Геометрический множитель $\sin\beta(\varphi_{i-1})$ моделирует изменение силового плеча при подъёме стрелы.

Динамика давления на основе расходного баланса жидкости (2) может быть описана уравнением:

$$dp_i = \frac{dt}{K_p}\left(q_н n_н - \frac{\pi d_c^2 l\ \sin\beta(\varphi_{i-1})}{4} \cdot \omega_{i-1} - \frac{\pi D_Д^2 v_{i-1_п}}{4} - a_y p_{i-1}\right). \quad (14)$$

Левая часть уравнения (14) отражает изменение давления, связанное с податливостью системы. Правая часть включает в себя: объём подачи насоса; расход, обусловленный движением поршня гидроцилиндра (q_n); расход через демпфер (составляющая, пропорциональная скорости плунжера $v_{i-1_п}$); потери из-за утечек, пропорциональные текущему значению давления.

Второй закон Ньютона для движения плунжера в демпфере реализуется соотношением:

$$dv_{i_\text{п}} = \frac{dt}{m}\left(\frac{\pi D_\text{Д}^2}{4}\left(p_{i-1} - \frac{D_\text{Д}^4 \cdot \rho}{2\mu^2 d_\text{др}^4} \cdot \left(v_{i-1_\text{п}}\right)^2\right) - \frac{B_r^2 A}{2\mu_0}\left(\frac{1}{\left(x_{i-1_\text{д}}+L\right)^2} - \frac{1}{x_{i-1_\text{д}}^2}\right) - k v_{i-1_\text{п}}\right), \quad (15)$$

где в правой части в скобках учтены равнодействующая сил давления, отталкивания между одноимёнными полюсами магнитов и вязкое демпфирование.

Обновление состояния системы на текущем шаге запишется как

$$v_{i_\text{п}} = v_{i-1_\text{п}} + dv_{i_\text{п}};\ x_{i_\text{д}} = x_{i-1_\text{д}} + v_{i-1_\text{п}} dt\ ;\ p_i = p_{i-1} + dp_i;$$

$$\omega_i = \omega_{i-1} + d\omega_i;\ t_i = t_{i-1} + dt. \quad (16)$$

Обновление угла подъёма стрелы будет определяться соответствием:

$$\varphi_i = \begin{cases} \varphi_{i-1} + \omega_{i-1} dt, \varphi_i < \varphi_\text{к} \\ \varphi_\text{к}, \varphi_{i-1} > \varphi_\text{к} \end{cases} \quad (17)$$

Полученные соотношения (14) – (17) позволяют по заданному начальному состоянию вычислять последовательные значения переменных на каждом временном шаге. Применение рекуррентной формы делает алгоритм вычислительно эффективным и прозрачным для последующего анализа, в том числе при реализации в Excel и дальнейшем создании программы для расчета кинематических и динамических характеристик рабочих процессов гидропривода манипулятора, снабжённого магнитным демпфирующим устройством.

Исследование проведено в рамках работы по теме «Выявление закономерностей режимов работы магнитного демпфирующего устройства гидропривода лесного манипулятора», поддержанной локальным грантом ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» в 2025 г.

Список литературы

1. Калашников Н.П., Смондырев М.А. Основы физики : учебник в 2 томах. 2-е изд. Москва : Лаборатория знаний. 2021. Том 1. 2021. 545 с.

2. Полумиско А.А., Евсиков И.Д., Попиков В.П. Математическая модель механизма подъема стрелы лесного гидроманипулятора с магнитным демпфирующим устройством // Физические основы наукоемких технологий в современном мире : Материалы Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора В.В. Постникова, приуроченной к 95-летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 15 апреля 2025 года. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. 2025. С. 142-149. DOI 10.58168/PHBSc-IT2025_142-149.

3. Попиков П.И., Афоничев Д.Н., Четверикова И.В., Конюхов А.В., Попикова А.В. Способы снижения динамической нагруженности и энергоемкости технологических машин и оборудования // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 06-07 июня 2023 года. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. С. 287-294.

4. Попиков П.И., Попиков В.П., Конюхов А.В., Зеленина Е.А. Математическая модель подъема стрелы манипулятора автосортиментовоза с энергосберегающим гидроприводом // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 08-09 июня 2021 года. Том Часть II. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. 2021. С. 170-176.

5. Попиков П.И., Танчук П.В., Богданов Д.С., Боровиков Р.Г. Экспериментальные исследования динамики гидропривода механизма выравнивания опорно-поворотного устройства лесного манипулятора // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : материалы Международной научно-практической

конференции, Воронеж, 06-07 июня 2022 года. Том Часть II. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. 2022. С. 111-118.

6. Русина Л.Г. Вычислительная математика. Численные методы интегрирования и решения дифференциальных уравнений и систем : учебное пособие для вузов. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург : Лань. 2022. 168 с.

7. Рыбак А.Т., Попиков П.И., Дручинин Д.Ю., Хоменко К.Г., Попиков С.К. Моделирование работы механизма поворота колонны манипулятора автосортиментовоза с учетом объемной жесткости энергосберегающего гидропривода // Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14, № 2(54). С. 280-294. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/16.

8. Хоменко К.Г., Попиков П.И., Кравченко К.И. Математическая модель поворота колонны манипулятора автосортиментовоза // Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки и исследования: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 03 октября 2024 года. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. 2024. С. 185-189. DOI 10.58168/MFCC2024_185-189.

9. Хоменко К.Г., Попиков П.И., Попиков С.К. Исследование рабочих процессов гидропривода манипуляторов лесотранспортных машин // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 06 июня 2024 года. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. 2024. С. 317-322.

References

1. Kalashnikov N.P., Smondyrev M.A. Fundamentals of Physics: textbook in 2 volumes. 2nd ed. Moscow: Knowledge Laboratory. 2021. Volume 1. 2021. 545 p.

2. Polumisko A.A., Evsikov I.D., Popikov V.P. Mathematical model of the boom lifting mechanism of a forestry hydraulic manipulator with a magnetic damping device // Physical foundations of science-intensive technologies in the modern world: Proceedings of the All-Russian scientific and methodological conference with international participation dedicated to the 80th anniversary of Professor V.V. Postnikov, timed to coincide with the 95th anniversary of VSTU named after G.F. Morozov, Voronezh, April 15, 2025. Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov. 2025. pp. 142-149. DOI 10.58168/PHBSc-IT2025_142-149.

3. Popikov P.I., Afonichev D.N., Chetverikova I.V., Konyukhov A.V., Popikova A.V. Methods for reducing the dynamic load and energy intensity of technological machines and equipment // Energy efficiency and energy saving in modern production and society: proceedings of the International scientific and practical conference, Voronezh, June 6-7, 2023. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2023. P. 287-294.

4. Popikov P.I., Popikov V.P., Konyukhov A.V., Zelenina E.A. Mathematical model of lifting the boom of the timber truck manipulator with an energy-saving hydraulic drive // Energy efficiency and energy saving in modern production and society: materials of the International scientific and practical conference, Voronezh, June 8-9, 2021. Vol. Part II. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I. 2021. P. 170-176.

5. Popikov P.I., Tanchuk P.V., Bogdanov D.S., Borovikov R.G. Experimental studies of the dynamics of the hydraulic drive of the leveling mechanism of the slewing support device of a forestry manipulator // Energy efficiency and energy saving in modern production and society: materials of the International scientific and practical conference, Voronezh, June 6-7, 2022. Volume Part II. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I. 2022. Pp. 111-118.

6. Rusina L.G. Computational Mathematics. Numerical Methods of Integration and Solution of Differential Equations and Systems: a textbook for universities. 2nd ed., reprinted. St. Petersburg: Lan. 2022. 168 p.

7. Rybak A.T., Popikov P.I., Druchinin D.Yu., Khomenko K.G., Popikov S.K. Modeling the operation of the rotation mechanism of the manipulator column of a timber truck taking into account the volumetric rigidity of the energy-saving hydraulic drive // Forestry Engineering Journal. 2024. Vol. 14, No. 2(54). P. 280-294. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.2/16.

8. Khomenko K.G., Popikov P.I., Kravchenko K.I. Mathematical model of the rotation of the manipulator column of a timber truck // Modern forestry complex of the country: innovative developments and research: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, October 3, 2024. Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov. 2024. P. 185-189. DOI 10.58168/MFCC2024_185-189.

9. Khomenko K.G., Popikov P.I., Popikov S.K. Study of working processes of the hydraulic drive of manipulators of timber transport machines // Energy efficiency and energy saving in modern production and society: Proceedings of the International scientific and practical conference, Voronezh, June 6, 2024. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I. 2024. P. 317-322.

DOI: 10.58168/Forestry2025_653-659
УДК 674(075)+684.4

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АКТУАЛЬНОЙ МЕБЕЛИ

Л.В. Пономаренко
к. т. н., доцент кафедры «Механической технологии древесины»
Е.В. Кантиева
к. т. н., доцент кафедры «Механической технологии древесины»
«Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф.Морозова», Россия

Аннотация.
Развитие деревообрабатывающей на современном этапе претерпевает существенные изменения. Разработка современного оборудования на базе ЧПУ, автоматизация, роботизация, 3-D печать, искусственного интеллекта – это основные вектора обновления мебельной индустрии на 2025 год и ближайшее десятилетие, без которых невозможно представить настоящую жизнь. Другим важным аспектом несомненно является внедрение в производство экологически чистых материалов и комплексное использование отходов деревообрабатывающей промышленности, снижая негативное воздействие на природу.

Ключевые слова: мебель, производство, экология, инновации, цифровизация, автоматизация, 3-D моделирование.

FEATURES OF THE ACTUAL FURNITURE PRODUCTION

L.V. Ponomarenko
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Mechanical Wood Technology
E.V. Kantieva
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Mechanical Wood Technology,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

Abstract.
The development of the woodworking industry is undergoing significant changes at the current stage. The development of modern CNC-based equipment, automation, robotization, 3D printing, and artificial intelligence are the main vectors of the furniture industry's renewal for 2025 and the next decade, without which it is impossible to imagine real life. Another important aspect is the introduction of environmentally friendly materials and the comprehensive use of woodworking industry waste, reducing the negative impact on nature.

Keywords: furniture, manufacturing, ecology, innovation, digitalization, automation, 3-D modeling.

Современный человек большое количество времени проводит среди изделий мебели. Есть мебель для дома, для офисов, образовательных учреждений, театров, транспорта и т.д. Как бы странно это не звучала, но форма, цвет, расстановка мебели, вне нашего желания, оказывает воздействие на наше настроение, эмоции, здоровье. Ведь

© Пономаренко Л. В., Кантиева Е. В., 2025

уютная домашняя обстановка среди изделий из древесины и цветов заряжает нас энергией, дает тепло, придает силы. Аскетичные бетонные стеклянные конструкции дают много света и настраивают на плодотворный труд (рисунок 1). Поэтому развитию мебельной промышленности придается большое значение.

В статье Сухорукова А.В. [1] говорится об особенностях инновационной деятельности в мебельном производстве. Надо отметить, что статья опубликована до начала специальной военной операции, и автор, анализируя рынок и производство мебели в России приходит к выводу, что для конкурентоспособности отечественной мебели необходимо инвестировать мебельное производство, иметь собственные научные разработки новых материалов, оборудования и технологий, улучшать качество, дизайн и ассортимент продукции, то есть проводить переориентацию мебельной промышленности на инновационный производство.

После введения со стороны западных стран санкций практически на все отрасли в России, остро встал вопрос импортозамещения - обеспечения населения собственными изделиями мебели.

Как и большинство отраслей народного хозяйства, мебельное производство изменяется ускоренными темпами, активно внедряются экологически чистые материалы, инновационные технологии и оборудование для создания функциональной, экологичной и эргономичной мебели [2]. Качество изделий существенно улучшается и покрываются потребности населения различных социальных групп.

Рисунок 1 – Инновационный интерьер

Одним из самых значимых направлений развития мебельного производства становится оснащение оборудования ЧПУ и автоматизированными системами, внедрение роботизированного оборудования и конечно же искусственного интеллекта.

Технологии искусственного интеллекта должны быть массово внедрены во все отрасли в текущем десятилетии. Такую задачу поставил президент России Владимир Путин, выступая 24.12.2024 на международной конференции "Путешествие в мир искусственного интеллекта".

"Задача нового этапа в горизонте текущего десятилетия - обеспечить именно массовое внедрение искусственного интеллекта, оно должно охватить все отрасли экономики и социальной сферы и систему госуправления", - указал глава государства.

Внедрение искусственного интеллекта и современного компьютерного программного управления изменяют технологии проектирования и изготовления мебельных изделий, проводит аналитическую обработку данных для прогнозирования

спроса населения на конструкции мебели и предпочтительные материалы, оптимизирует производственные задачи, связанные с закупками сырья и материалов, построением рынков сбыта продукции, способствует контролю производственного процесса на каждой стадии технологического процесса и повышению качества готового изделия.

В статье Нерсесяна А.К. [3] отмечается, что программное обеспечение деревообрабатывающих станков выступает ускорителем мебельной индустрии, обеспечивает автоматизацию и роботизацию оборудованию, что сказывается на улучшении качества продукции и повышении производительности, устраняет тяжелый физический труд рабочих. Современные системы проектирования, такие как Базис-мебельщик, К3-Мебель, KitchenDraw, bCAD Мебель, Styleroom, позволяют дизайнерам создавать точные 3D-модели, что ускоряет разработку новых продуктов и улучшает их качество. Внедрение ERP-систем, оптимизирует управление ресурсами, снижает уровень брака и улучшает контроль качества. Внедрение данных систем повышает гибкость производства и позволяет удовлетворять постоянно изменяющиеся потребности современного рынка.

Разработаны и используются станки лазерной обработкой материалов [4]. На данном оборудовании можно изготавливать высокоточные сложные детали, элементы декоров и орнаментов (рисунок 2, а), наносить гравировки, выполнять качественное кромление мебельных щитов (рисунок 2, б).

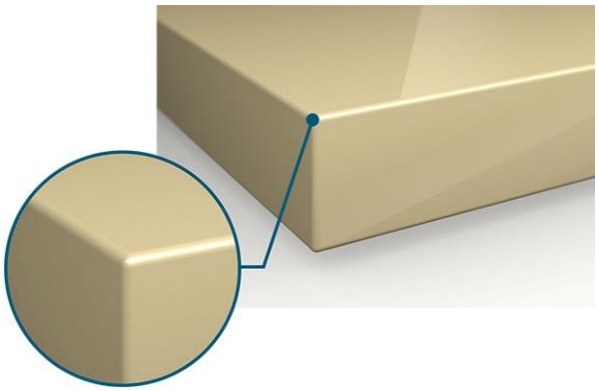
а **б** 

Рисунок 2 – Лазерная обработка материалов: а - фрезерование рисунки на поверхности мебельного щита; б – создание кромки мебельного щита

Практически на всех мебельных фабриках мы увидим станки с числовым программным управлением (ЧПУ) [5, 6]. Они активно используются производственниками и выполняют точную обработку заготовок по заданным программам. Такие станки позволяют получать заготовки очень высокой точности обработки и качества, повышают производительность производства, исключают или сводят к минимуму дефекты обработки.

Современные мебельные фабрики также широко используют роботизированные комплексы (рисунок 3) [7]. Данные установки позволяют точно рассчитывать расходы лакокрасочных материалов (ЛКМ), клеев, производить установку крепежной фурнитуры и ускорять процессы сборки сборочных единиц и изделий, равномерно наносить ЛКМ, получать высокое качество изделия, исключая человеческий фактор.

Рисунок 3 – Роботизированный комплекс для получения фасонного рисунка на пласти фасада корпусной мебели

Цифровизация деревообработки в целом и мебельной индустрии в том числе, выражается главным образом в внедрении программного обеспечения на всех стадиях производственного процесса: планирования, управления, проектирования, непосредственно производства. Внедрение цифровизации позволяет получать клееные изделия из древесины с высокими прочностными показателями, долговечные и удовлетворяющими требованиям стандартов в процессе эксплуатации [8].

Важную роль в дизайне, проектировании и изготовлении мебели играет 3-D проектирование. Процесс компьютерного моделирования позволяет создать в виртуальной среде любые изделия, включая самые сложные и трудоемкие, и снизить риски, связанные с ошибками и просчетами оператора-конструктора [9]. При использовании аддитивных технологий становится возможным творить отдельные мебельные элементы (декоры) (рисунок 4, а) и даже целые изделия (рисунок 4, б). Технологии 3-D становятся объективной реальностью мебельной индустрии и позволяют быстро создавать новые модели, сложные конструкции, минимизировать отходы и т.п.

Очень важно отметить, что российские производители мебели стремятся не только к модернизации подходов, оборудования, технологий, но и уделяют большое внимание экологичности материалов и внедрению современных инновационных подходов на основе «биоморфизм» и «биомимикрия» [10]. Сама матушка-земля за миллиарды лет своего существования показала возможность изменяться и приспосабливаться к негативным факторам. Поэтому внедряя «биоморфизм» и «биомимикрия» мы по сути имитируем аспекты природы, приспосабливаем их к человеческим проблемам сливаем красоту природы и современные возможности человека в едины проекты и решения.

а

б

Рисунок 4 – 3-D проектирование: а - фрагмент декора мебели, напечатанный на 3D принтере по технологии FDM; б – изделие мебели

Также активно используются новые натуральные материалы, например, каменный шпон для облицовывание щитовых поверхностей (рисунок 5, а) [11]. Эта натуральный, красивый, сочетающийся практически со всеми материалами (древесина, металл, стекло, натуральные шпоны и т.п.), используемыми в производстве мебели. Нужно обратить внимание и на грибные мицелии мебель и элементы декора из грибов экологичны и не оказывают пагубного воздействия на человека и природу, а даже наоборот очищают воздух от вредных частиц. Кроме того, данная мебель не требует особой утилизации, так как может быть просто превращена в компост, которым можно удобрить растения (рисунок 5, б).

а

б

Рисунок 5 – Современные изделия из натуральных материалов: а – фасады из каменного шпона, б – стул с мицелиями

Особое внимание уделяется созданию материалов вторичной переработки, позволяющих сокращать отходы мебельной индустрии и тем самым сокращать углеродный след.

Резюмируя все вышеизложенное отметим, что изготовление мебели претерпевает серьезные изменения в сторону автоматизации, цифровизации и внедрения современных экологически чистых материалов, адаптацией к меняющимся потребностям потребителей. Это способствует обновлению отрасли, ее развитию и росту, обеспечивает конкурентоспособность и устойчивость.

Список литературы

1. Будущее уже здесь: новые технологии в мебельной индустрии 2025. – URL: https://dzen.ru/a/Z91a89tjdTLJOOIv. (Дата обращения 30.04.25).

2. Грачев, Д.С. Цифровизация в деревообработке/ Д.С. Грачев, Д.С. Шарыгин, Е.В. Кантиева, Л.В. Пономаренко // В сборнике: Новые материалы и перспективные технологии лесопромышленного комплекса. материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов. – Воронеж - 2022. - С. 36-39.

3. Зарытовских, А.В. Моделирование элементов художественного дизайна по принципам биоморфизма и биомимикрии / А.В. Зарытовских, Л.В. Пономаренко, Е.В. Кантиева // В сборнике: Энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса. Материалы Международной научной конференции ученых и студентов. – Воронеж - 2024. - С. 57-62.

4. Нерсесян, А.К. Роль программного обеспечения в ускорении производственных процессов в мебельной индустрии / А.К. Нерсесян // Научный международный электронный журнал «Вестник науки». – URL: https://www.вестник-науки.рф/article/17092 (дата обращения 24.04.2025). DOI 10.24412/2712-8849-2024-978-37-50.

5. Новые технологии в производстве мебели: как цифровизация меняет индустрию. – URL: https://1kroy.ru/o-kompanii/blog/novye-tekhnologii-v-proizvodstve-mebeli-kak-tsifrovizatsiya-menyaet-industriyu/. (Дата обращения 29.04.25).

6. От цифрового эскиза до реального объекта: как технологии меняют мебель. – URL: https://1kroy.ru/o-kompanii/blog/ot-tsifrovogo-eskiza-do-realnogo-obekta-kak-tekhnologii-menyayut-mebel-na-zakaz/. (Дата обращения 12.04.25).

7. Производство мебели: современные технологии и инновации в индустрии. – URL: https://1kroy.ru/o-kompanii/blog/proizvodstvo-mebeli-sovremennye-tekhnologii-i-innovatsii-v-industrii/. (Дата обращения 29.04.25).

8. Сухоруков, А.В. Проблемы и перспективы инновационного развития российской мебельной промышленности/ А.В. Сухоруков // Электронный журнал «Первое экономическое издательство. – 2013. - № 12. С.84. - URL:https://1economic.ru/lib/4978 (дата обращения 24.04.2025).

9. Чуйков, А.С. Особенности проектирования трехмерных моделей и конструкций декоративных элементов мебели и их изготовление/ А.С. Чуйков, Л.В. Игнатович// Туды БГТУ. – 2021 – серия 1, №1, С. 156-161. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-trehmernyh-modeley-i-konstruktsiy-dekorativnyh-elementov-mebeli-i-ih-izgotovleniya/viewer. (Дата обращения 30.04.25).

10. Ponomarenko, L. Investigation of adhesive bond strength when facing furniture boards with flexible stone veneer / L. Ponomarenko, E. Kantieva, A. Kireeva // Forestry Engineering Journal. 2023. Т. 13. № 4.1 (52). С. 140-157.

References

1.The future is already here: new technologies in the furniture industry 2025. – URL: https://dzen.ru/a/Z91a89tjdTLJOOIv. (Accessed 22.03.25).

2. Grachev, D.S. Digitalization in woodworking/ D.S. Grachev, D.S. Sharygin, E.V. Kantieva, L.V. Ponomarenko // In the collection: New materials and promising technologies of the timber industry. materials of the All-Russian scientific and practical conference of young scientists and students. – Voronezh - 2022. - pp. 36-39.

3. Zarytovskikh, A.V. Modeling of artistic design elements based on the principles of biomorphism and biomimicry / A.V. Zarytovskikh, L.V. Poneva, E.V. Kantieva // In the collection: Energy-saving and environmentally friendly technologies of the timber industry. Proceedings of the International Scientific Conference of Scientists and Students. Voronezh, 2024. pp. 57-62.

4. Nersesyan, A.K. The role of software in accelerating production processes in the furniture industry / A.K. Nersesyan //Scientific international electronic journal "Bulletin of Science". – URL: https://www.vestnik-nauki.Russian Federation/article/17092 (accessed 04/24/2025). DOI 10.24412/2712-8849-2024-978-37-50.

5. New technologies in furniture production: how digitalization is changing the industry. – URL: https://1kroy.ru/o-kompanii/blog/novye-tekhnologii-v-proizvodstve-mebeli-kak-tsifrovizatsiya-menyaet-industriyu/. (Accessed 04/29/25).

6. From a digital sketch to a real object: how technology is changing furniture. – URL: https://1kroy.ru/o-kompanii/blog/ot-tsifrovogo-eskiza-do-realnogo-obekta-kak-tekhnologii-menyayut-mebel-na-zakaz/. (Accessed 12.04.25).

7. Furniture manufacturing: modern technologies and innovations in the industry. – URL: https://1kroy.ru/o-kompanii/blog/proizvodstvo-mebeli-sovremennye-tekhnologii-i-innovatsii-v-industrii/. (Accessed 04/29/25).

8. Sukhorukov, A.V. Problems and prospects of innovative development of the Russian furniture industry/ A.V. Sukhorukov// Electronic journal "First Economic Publishing House. – 2013. - № 12. P.84. – URL:https://1economic.ru/lib/4978 (accessed 04/24/2025).

9. Chuikov, A.S. Features of designing three-dimensional models and structures of decorative furniture elements and their manufacture/ A.S. Chuikov, L.V. Ignatovich// Tudy BSTU. – 2021 – series 1, No. 1, pp. 156-161. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-trehmernyh-modeley-i-konstruktsiy-dekorativnyh-elementov-mebeli-i-ih-izgotovleniya/viewer. (Accessed 04/30/25).

10. Ponomarenko, L. investigation of adhesive bond strength when facing furniture boards with flexible stone veneer / L. Ponomarenko, E. Kantieva, A. Kireeva // Forestry Engineering Journal. 2023. Vol. 13. No. 4.1 (52). pp. 140-157.

DOI: 10.58168/Forestry2025_660-668
УДК 631.356.46

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРЕЛЕВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В.В. Сиваков
к.т.н., доцент кафедры Транспортно-технологические машины и сервис
А.Н. Заикин
д.т.н., профессор кафедры Транспортно-технологические машины и сервис
Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск, Россия

Аннотация.
Достижение эффективности лесозаготовок осуществляется за счет комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Однако перемещение машин по лесосеке наносит экологический ущерб почве и оставшимся деревьям. На основании проведенного анализа установлено, что использование трелевочной тележки с гидравлическим захватом позволяет механизировать процесс захвата трелюемых сортиментов и их перемещение в полуподвешенном состоянии при низком вредном воздействии на лесные экосистемы.

Ключевые слова: лесозаготовки, трелевка, трелевочные приспособления, трелевочная тележка.

IMPROVING TRACKING DEVICES TO REDUCE HARMFUL IMPACT ON FOREST ECOSYSTEMS

V.V. Sivakov
Candidate of Technical Sciences
Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Service
A.N. Zaikin
Doctor of Technical Sciences
Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Service
Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk, Russia

Abstract.
The efficiency of logging operations is achieved through the comprehensive mechanization and automation of production processes. However, the movement of machines in the logging area causes environmental damage to the soil and remaining trees. Based on the analysis conducted, it has been established that the use of a hydraulic-grab skidder allows for the mechanization of the process of capturing and moving skidded logs in a semi-suspended state, while minimizing the harmful impact on forest ecosystems.
Keywords: logging, skidding, skidding equipment, and skidding trolley.

Одной из важнейших задач в области лесозаготовок является повышение производительности труда на базе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Заготовка леса с применением техники может осуществляться разными технологическими схемами [1,2], различными типами и составами

© Сиваков В. В., Заикин А. Н., 2025

машин [3,4,5], при этом одной из главных задач, возникающих при выполнении операций трелевки, является задача минимизации вредного воздействия лесозаготовительной техники на природную среду (оставленных на доращивание деревьев), особенно при проведении рубок ухода [6,7]. Поэтому основной целью с точки зрения экологичности использования техники и технологии, должно быть обеспечение максимального повышения производительности труда при условии рационального использования всей биомассы дерева и минимального воздействии машин на лесные экосистемы [8].

Основные виды повреждений деревьев, оказывающие влияние на дальнейшую их жизнеспособность и продуктивность, можно разделить на три группы (рис.1).

Рисунок 1 – Основные повреждения, отрицательно влияющие на дальнейшую продуктивность древостоев

Для снижения вредного влияния на почвенный покров при осуществлении лесозаготовок, особенно при проведении выборочных рубок и рубок ухода, требуется поиска новых технических решений.

Как показал проведенный авторами анализ, зарубежными фирмами и отечественными производителями выпускается недостаточно машин для выборочных рубок. Трелевка сортиментов может осуществляться как отдельными сортиментами, так и пачками, при этом трелевка пачки является сокращает затраты времени на погрузочно-разгрузочные элементы операции, увеличивает время использования трелевочного трактора на транспортных работах, а следовательно, его производительность [9, 10, 11]. Однако, к пачке деревьев предъявляются дополнительные требования – она должна быть хорошо сформирована, располагаться в удобном для подхода трактора месте и обеспечивать его полную загрузку.

При выполнении трелевки на лесозаготовках в настоящее время применяются тракторы общего назначения со специальными навесными приспособлениями [12, 13, 14, 15], такими как трелевочные захваты, лебедки или трелевочные тележки.

Цель работы - разработка навесной двухколесной трелевочной тележки для бесчокерной трелевки сортиментов на малогабаритный трактор общего назначения типа МТЗ-320.

Трелевка древесины – сложный и опасный процесс, для повышения безопасности которого были разработаны средства механизированной трелевки, при этом трелевка осуществляется волоком, в полуподвешенном и погруженном состоянии (рис.2).

Рисунок 2 – Классификация методов трелевки

Для трелевки могут использоваться как тракторы общего назначения, так и специализированные тракторы, мини-тракторы [16, 17].

Среди различных технических средств механизации при рубках ухода широко применяются устройства для бесчокерной трелевки леса. Кроме трелевки из лесонасаждений отдельных деревьев и небольших пачек при проведении рубок ухода такие трелевочные приспособления успешно используются для штабелирования, выравнивания торцов и окучивания трелеванной древесины, очистки вырубок от порубочных остатков. Как правило, эти устройства являются навесными или съемными и агрегатируются с широко распространенными в лесном хозяйстве колесными тракторами тяговых классов 0,6…1,4 кН.

Классификация средств механизации трелевки, как разработанных и производимых в РФ, так и за рубежом, представлена на рис. 3. Большинство из этих устройств гидрофицированы, адаптированы к гидросистемам агрегатируемых тракторов и управляются с рабочего места оператора.

Рисунок 3 – Виды трелевочных приспособлений для бесчокерной трелевки

На основе анализа предлагаемых конструкций трелевочных тележек целесообразным для использования трелевки сортиментов в условиях лесосеки является использование двухколесной трелевочной тележки с захватом, позволяющие механизировать процесс захвата трелюемых бревен и их перемещение в полуподвешенном состоянии, позволяющая более эффективно, по сравнению с четырехколесной схемой, маневрировать трактору с тележкой среди оставленных на доращивание деревьев.

Авторами предложены сколько вариантов конструкции двухколесной трелевочной тележки, позволяющие повысить эффективность процесса трелевки, основанные на техническом решении [18]. Навесная трелевочная тележка (рис.4) состоит из опорной двухколесной тележки, гидравлического захвата, балок и навесного устройства. Гидравлический захват устанавливается на правом конце опрокидывающейся балки, закрепленной на опорной двухколесной тележке, левый конец которой посредством качающегося рычага связан со штоком гидроцилиндра, закрепленного на опрокидывающейся балке навесного устройства, позволяющего навешивать трелевочную тележку на трехточечную навеску трактора.

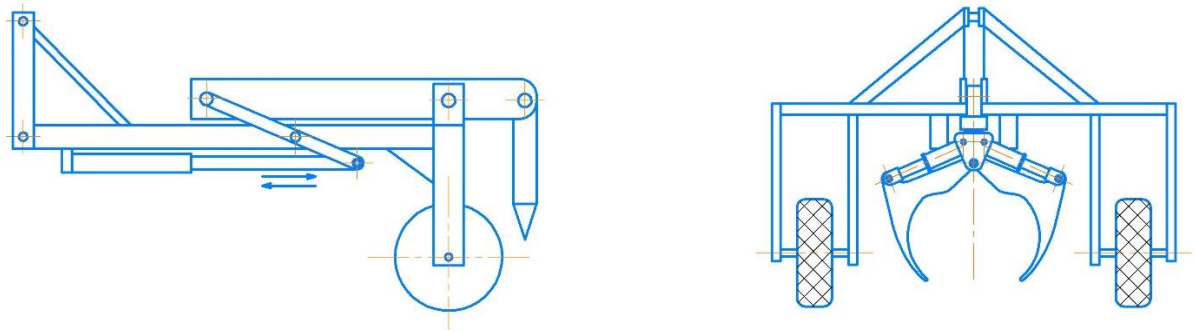


Рисунок 4 – Вариант трелевочной тележки с гидравлическим захватом

При анализе технического совершенствования первого варианта авторы пришли к выводу о сложности разработанной конструкции, поэтому были разработаны еще два варианта трелевочной тележки.

Второй вариант навесной трелевочной тележки (рис. 5) состоит из опор двухколесной тележки, соединенных с горизонтальной поперечной балкой, на которой по ее середине крепятся две вертикальных стойки, к которым на оси устанавливается стрела, на одном конце которой закреплен силовой гидроцилиндр, связанный с навесным устройством, обеспечивающим возможность навески трелевочной тележки на трехточечную навеску трактора. Силовой гидроцилиндр подключен к гидросистеме трактора посредством гидрошлангов. На свободном конце стрелы закреплен ротатор с гидравлическим захватом, состоящим из траверсы, двух клещевин и двух гидроцилиндров, подключенных к гидросистеме трактора посредством гидрошлангов.

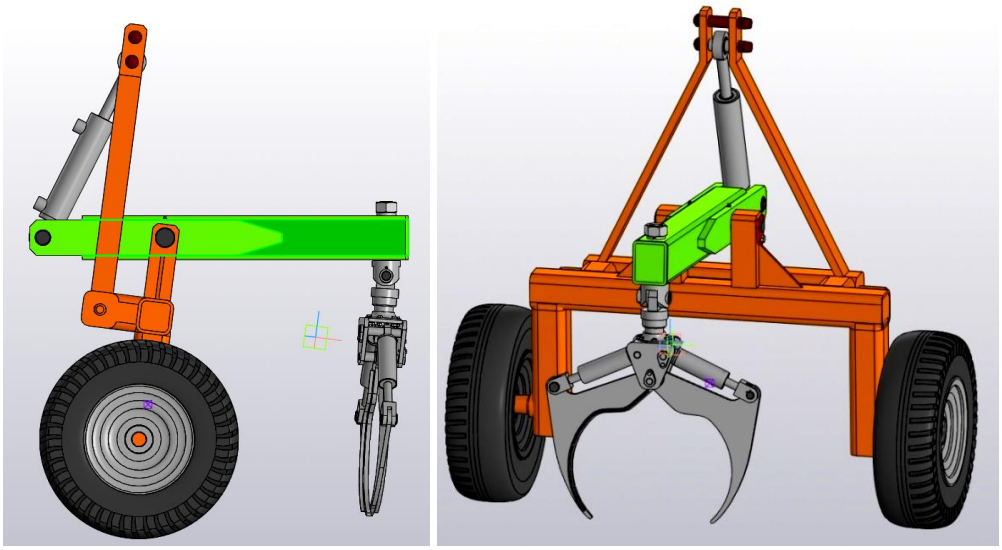


Рисунок 5 – Вариант трелевочной тележки с гидравлическим захватом

Третий вариант навесной трелевочной тележки (рис. 6) включает стрелу, свободный конец которой выполнен под углом. Стрела выполняет функции несущей части и обеспечивает перемещение и манипуляции с грузом. На свободном ее конце расположен клещевой захват, предназначенный для захвата и удержания древесины. Конструкция опирается на раму, установленную на колеса, которые обеспечивают устойчивость и легкость транспортировки трелевочной тележки с сортиментами.

Основным несущим элементом трелевочной тележки является стальная рама, выполненная из профильных элементов. Рама представляет собой жесткую конструкцию, рассчитанную на значительные нагрузки. К ней крепятся все основные компоненты тележки, включая колеса, трехточечную навеску, стрелу, гидроцилиндр и клещевой захват. Колесная база состоит из двух колес, установленных на оси. Конструкция колес обеспечивает достаточную устойчивость устройства при транспортировке груза и в процессе выполнения захватных операций.

Агрегатирование тележки к трактору осуществляется через трехточечную навеску. Такая система крепления позволяет тележке эффективно адаптироваться к неровностям рельефа и выдерживать значительные эксплуатационные нагрузки при рабочем ходе трактора. Кроме того, трехточечная навеска обеспечивает свободу маневра тележки при движении трактора, что важно в условиях ограниченного пространства лесозаготовительных участков. При холостом ходе трактора трехточечная навеска дает возможность поднимать навесное трелевочное приспособления над поверхностью почвы, что повышает маневренность трактора и снижает износ ходовых колес тележки.

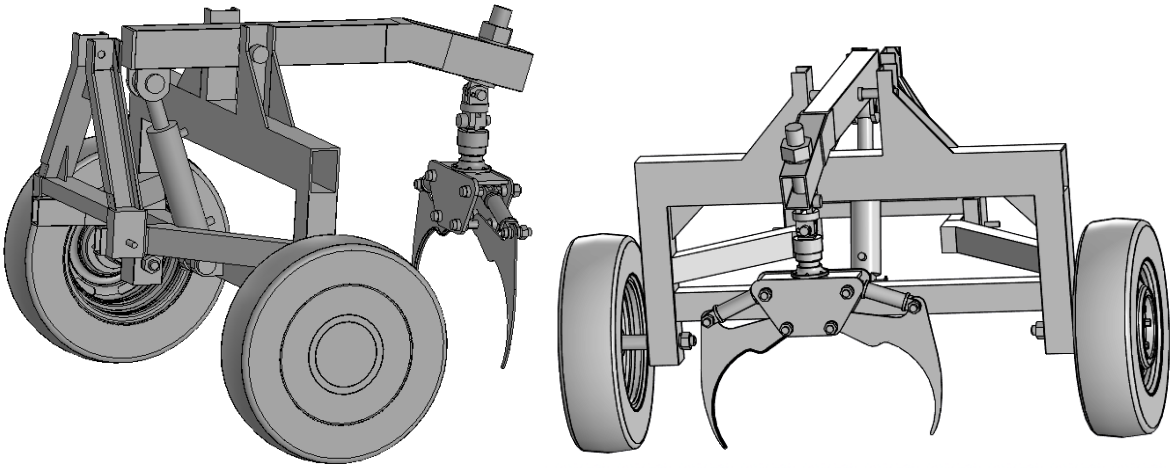
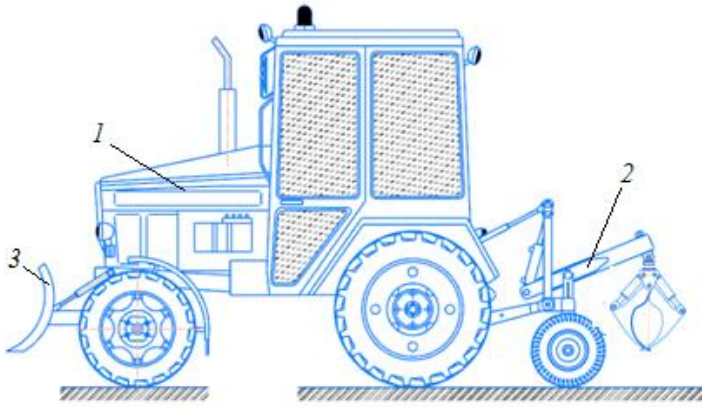


Рисунок 6 – Вариант трелевочной тележки с гидравлическим захватом

Применение предложенных вариантов трелевочной тележки возможно с разными транспортными средствами, например, с трактором Беларусь 320, что расширяет его возможности, позволяя работать трактору на лесозаготовительных работах, а именно на трелевке как отдельных поваленных деревьев, хлыстов или сортиментов, так и пачек небольшого объема. Предлагаемая конструкция трактора с трелевочной тележкой для бесчокерной трелевки сортиментов в полуподвешенном состоянии представлена на рисунке 7.

Обзор проведенных исследований показал, что повышение эффективности лесозаготовительных работ возможно за счет совершенствования трелевочных приспособлений, таких как трелевочные захваты, лебедки, трелевочные тележки, которые могут эксплуатироваться с тракторами общего назначения.

Одним из эффективных решений в области трелевочных приспособлений является применение трелевочной тележки с захватом, позволяющей механизировать процесс захвата трелюемых сортиментов или хлыстов и осуществлять трелевку в полуподвешенном состоянии, что позволяет снизить энергетические затраты с одной стороны и уменьшить вредное воздействие на почвенный покров с другой стороны.



1 – трактор МТЗ-320; 2 – навесное трелевочное приспособление; 3 – бульдозерный отвал

Рисунок 7 – Трактор МТЗ-320 с навесным трелевочной тележкой

На основании оригинального решения разработаны два варианта трелевочных тележек, простых по конструкции, позволяющих повысить эффективность процесса трелевки при агрегатировании с тракторами общего назначения.

Применение навесных трелевочных тележек с трехточечной навеской позволяет тележке эффективно адаптироваться к неровностям рельефа и выдерживать значительные эксплуатационные нагрузки при рабочем ходе трактора, а также обеспечивает свободу маневра тележки при движении трактора, что важно в условиях ограниченного пространства лесозаготовительных участков.

Список литературы

1. Zyryanov M, Medvedev S and Mokhirev A 2020 Study of the possibility of using logging residue for the production of wood processing enterprises. Journal of Applied Engineering Science. 18 (1) 15 DOI: 10.5937/jaes18-22611

2. Mokhirev A, Rukomojnikov K, Gerasimova M and Medvedev S 2020 Development of methodological foundations for the design of logging infrastructure taking into account the dynamically changing environment. Journal of Applied Engineering Science 18 (4) 500 DOI: 10.5937/jaes0-25227

3. Rukomoinikov K, Mokhirev A, Burgonutdinov A, Kunitskaya O, Voronov R and Grigorev I 2021 Network planning of the technological chain for timber land development. Journal of Applied Engineering Science. 19 (2) 407 DOI: 10.5937/jaes0-28819

4. Hertz E, Mekhrentsev A, Pobedinsky V, Terinov N and Urazova A 2021 Increasing the efficiency of multifunctional machines for intensive forestry. Izvestiya of higher educational institutions. Forest Journal No 1 (379) 138-149 DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-138-149

5. Yakimovich S and Teterina M 2019 Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber. IOP C. Ser. Earth Environ. Sci. 272 032026 DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032026

6. Бартенев И.М., Родин С.А. Экологизация технологий и машин лесного комплекса. Пушкино: ВНИИЛМ, 2001. 88 с.

7. Бартенев И.М., Драпалюк М.В. Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения // Лесотехнический журнал. 2012. № 1. С.61-66.

8. Vladimir Sivakov et al 2023 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1284 012037. 10.1088/1755-1315/1284/1/012037

9. Borz, Stelian & Mariş, Alexandru-Constantin & Kaakkurivaara, Nopparat. (2023). Performance of Skidding Operations in Low-Access and Low-Intensity Timber Removals: A Simulation of Productivity and Fuel Consumption in Mature Forests. Forests. 14. 10.3390/f14020265.

10. Moghadami, mostafa & rizvandi, vahid. (2024). Evaluating the Effects of Logging with a Ferguson Tractor on the Physical and Chemical Properties of the Soil. Case Study: Kouhmian Forests, Azadshahr. Ecology of Iranian Forests. 12. 16-27. 10.61186/ifej.12.1.16.

11. Visser, Rien & Spinelli, Raffaele. (2020). Assessment of a winch-assisted skidder in Castle Downs Forest, New Zealand.

12. Dudek, Tomasz & Janas, Dominik. (2022). The Productivity and the Costs Forwarding Wood of a Farm Tractor with a Trailer in Late Thinning and Cutting in Gaps of Forests. Forests. 13. 1309. 10.3390/f13081309.

13. Naskrent, B.; Polowy, K.; Grzywi ́nski, W.; Sobczak, A. Timber extraction in thinned stands using agricultural tractor coupled witha trailer with a hydraulic crane. Sylwan 2019, 163, 121–129.

14. Wiesik, J. Wood hauling aggregate with self-loading trailer. Principles of creation and effective use. Part 1. Description of woodforwarding process and principles of machine aggregation. Tech. Rol. Ogrod. Le ́sna 2017, 4, 18–21.

15. Visser, Rien & Spinelli, Raffaele. (2023). Benefits and Limitations of Winch-Assist Technology for Skidding Operations. Forests. 14. 296. 10.3390/f14020296.

16. Terinov, N & Toybich, V & Gertz, E & Mekhrentsev, A & Azarenok, V & Kazantsev, P. (2021). Modernization of mini-tractor for wood skidding. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 875. 012086. 10.1088/1755-1315/875/1/012086.

17. Gerts, Eduard & Mekhrentsev, Andrey & Terinov, Nikolay & Urazova, Alina. (2022). Substantiation of the Technological Process Parameters of Wood Skidding with a Mini Tractor in Increment Thinning. Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal). 126-138. 10.37482/0536-1036-2022-6-126-138.

18. Патент № 2785391 C1 Российская Федерация, МПК B60P 3/41. Навесная трелевочная тележка: № 2022107784: заявл. 24.03.2022: опубл. 07.12.2022 / А. Н. Заикин, В. В. Сиваков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный инженерно-технологический университет".

19. Savchenko, Stanislav & Polukarov, Denis & Abramov, Vitaliy & Gudkov, A. & Lysych, Mikhail & Mayer, E. & Alekseeva, M.. (2025). Selecting technical means for efficient implementation of wood skidding. 173-178. 10.58168/E-SEFTFI2024_173-178.

20. Handžić, Senaid & Đukić, Mladen & Petkovic, Vladimir & Marčeta, Dane. (2024). Productivity of TIMBERJACK 240A and LKT 81T Skidders at Selective Cutting and Longer Distances. South-east European forestry. 15. 10.15177/seefor.24-08.

References

1. Zyryanov M, Medvedev S and Mokhirev A 2020 Study of the possibility of using logging residue for the production of wood processing enterprises. *Journal of Applied Engineering Science*. 18 (1) 15 DOI: 10.5937/jaes18-22611

2. Mokhirev A, Rukomojnikov K, Gerasimova M and Medvedev S 2020 Development of methodological foundations for the design of logging infrastructure taking into account the dynamically changing environment. *Journal of Applied Engineering Science* 18 (4) 500 DOI: 10.5937/jaes0-25227

3. Rukomoinikov K, Mokhirev A, Burgonutdinov A, Kunitskaya O, Voronov R and Grigorev I 2021 Network planning of the technological chain for timber land development. *Journal of Applied Engineering Science*. 19 (2) 407 DOI: 10.5937/jaes0-28819

4. Hertz E, Mekhrentsev A, Pobedinsky V, Terinov N and Urazova A 2021 Increasing the efficiency of multifunctional machines for intensive forestry. *Izvestiya of higher educational institutions. Forest Journal* No 1 (379) 138-149 DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-138-149

5. Yakimovich S and Teterina M 2019 Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber. *IOP C. Ser. Earth Environ. Sci.* 272 032026 DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032026

6. Bartenev I.M., Rodin S.A. Ecologization of Technologies and Machines in the Forestry Complex. Pushkino: VNIILM, 2001. 88 p.

7. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V. Reducing the harmful effects of forest tractors and logging machines on soil and plantations. Lesotekhnichesky Zhurnal. 2012. No. 1. Pp. 61-66.

8. Vladimir Sivakov *et al* 2023 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1284 012037. 10.1088/1755-1315/1284/1/012037

9. Borz, Stelian & Mariş, Alexandru-Constantin & Kaakkurivaara, Nopparat. (2023). Performance of Skidding Operations in Low-Access and Low-Intensity Timber Removals: A Simulation of Productivity and Fuel Consumption in Mature Forests. Forests. 14. 10.3390/f14020265.

10. Moghadami, mostafa & rizvandi, vahid. (2024). Evaluating the Effects of Logging with a Ferguson Tractor on the Physical and Chemical Properties of the Soil. Case Study: Kouhmian Forests, Azadshahr. Ecology of Iranian Forests. 12. 16-27. 10.61186/ifej.12.1.16.

11. Visser, Rien & Spinelli, Raffaele. (2020). Assessment of a winch-assisted skidder in Castle Downs Forest, New Zealand.

12. Dudek, Tomasz & Janas, Dominik. (2022). The Productivity and the Costs Forwarding Wood of a Farm Tractor with a Trailer in Late Thinning and Cutting in Gaps of Forests. Forests. 13. 1309. 10.3390/f13081309.

13. Naskrent, B.; Polowy, K.; Grzywi ́nski, W.; Sobczak, A. Timber extraction in thinned stands using agricultural tractor coupled witha trailer with a hydraulic crane. Sylwan 2019, 163, 121–129.

14. Wiesik, J. Wood hauling aggregate with self-loading trailer. Principles of creation and effective use. Part 1. Description of woodforwarding process and principles of machine aggregation. Tech. Rol. Ogrod. Le ́sna 2017, 4, 18–21.

15. Visser, Rien & Spinelli, Raffaele. (2023). Benefits and Limitations of Winch-Assist Technology for Skidding Operations. Forests. 14. 296. 10.3390/f14020296.

16. Terinov, N & Toybich, V & Gertz, E & Mekhrentsev, A & Azarenok, V & Kazantsev, P. (2021). Modernization of mini-tractor for wood skidding. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 875. 012086. 10.1088/1755-1315/875/1/012086.

17. Gerts, Eduard & Mekhrentsev, Andrey & Terinov, Nikolay & Urazova, Alina. (2022). Substantiation of the Technological Process Parameters of Wood Skidding with a Mini Tractor in Increment Thinning. Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal). 126-138. 10.37482/0536-1036-2022-6-126-138.

18. Patent No. 2785391 C1 Russian Federation, IPC B60P 3/41. Mounted Skidding Trolley: No. 2022107784: Appl. 24.03.2022: Publ. 07.12.2022 / A. N. Zaikin, V. V. Sivakov;

Applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State Engineering and Technology University"

19. Savchenko, Stanislav & Polukarov, Denis & Abramov, Vitaliy & Gudkov, A. & Lysych, Mikhail & Mayer, E. & Alekseeva, M.. (2025). Selecting technical means for efficient implementation of wood skidding. 173-178. 10.58168/E-SEFTFI2024_173-178.

20. Handžić, Senaid & Đukić, Mladen & Petkovic, Vladimir & Marčeta, Dane. (2024). Productivity of TIMBERJACK 240A and LKT 81T Skidders at Selective Cutting and Longer Distances. South-east European forestry. 15. 10.15177/seefor.24-08.

DOI: 10.58168/Forestry2025_669-676
УДК 630.376

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ

П.В. Трушевский
Директор,
ООО «Сибирский биоуголь», г. Калуга, Россия
В.М. Дьяченко
аспирант,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Россия
М.С. Новиков
аспирант
Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия
И.В. Григорьев
д.т.н., профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса»,
Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

Аннотация.
Рассмотрены перспективные варианты эффективного освоения удаленных от дорожной сети участков лесного фонда, а также участков со слабой несущей способностью почвогрунтов. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, https://rscf.ru/project/23-16-00092/.

Ключевые слова: труднодоступные лесные участки, лесные терминалы, береговые лесные склады, альтернативная энергетика.

PROMISING AREAS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF DEVELOPMENT OF HARD-TO-REACH FOREST AREAS

P.V. Trushevsky
Director,
Siberian Biogol LLC, Kaluga, Russia
V.M. Dyachenko
Postgraduate student,
St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, St. Petersburg, Russia
M.S. Novikov
Postgraduate student
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia
I.V. Grigorev
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Equipment of the Forest Complex,
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Rissia

© Трушевский П. В., Дьяченко В. М., Новиков М. С., Григорьев И. В., 2025

Abstract. Promising options for effective development of forest fund areas remote from the road network, as well as areas with weak bearing capacity of soils, are considered. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of the logging industry and forestry". The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, https://rscf.ru/project/23-16-00092/.

Keywords: inaccessible forest areas, forest terminals, coastal timber warehouses, alternative energy.

Труднодоступные лесные участки можно принципиально подразделить на два варианта: участки сложные для освоения из-за почвенно-грунтовых или рельефных условий, а также удаленные от дорог, неосвоенные лесные массивы. Последние, в большой части случаев, относятся к резервным лесам, в которых хозяйство не ведется. Это приводит к накоплению в них перестойной древесины, повышению пожарной и фитопатологической опасности. Эта проблема наиболее остро стоит в лесах субъектов Дальневосточного федерального округа.

В большой части случаев, в теплый период года, в удаленных от дорог, неосвоенных лесных массивах можно встретить труднопроходимые участки, в основном, по почвенно-грунтовым условиям.

Ярким примером рассматриваемой проблемы являются леса Республики Саха (Якутия), почти половина из которых приходится на леса резервные, ввиду крайне слабой развитости дорожной сети, и очень больших расстояний вывозки заготовленной древесины.

Хорошо известны и последствия сложившейся ситуации – большое количество пожаров, в основном природных, сильные вспышки размножения насекомых-вредителей леса. [2, 3, 5, 6] На ликвидацию этих последствий ежегодно затрачиваются значительные бюджетные средства. При этом, в отличии от освоенных эксплуатационных и защитных лесов, никакого дохода резервные леса не приносят, что делает борьбу с лесными пожарами и насекомыми вредителями в них практически на 100% убыточной.

Значительной проблемой является тот факт, что в перестойных лесных насаждениях качество древесины значительно снижается, стоимость ее заготовки и транспортировки к местам переработки, с учетом необходимости строительства и содержания лесных дорог существенно превышает ее продажную стоимость. Это переводит большую часть древесины из удаленных от дорог, неосвоенных лесных массивов в низкотоварную – экономически неинтересную для лесозаготовительных предприятий [1, 8, 9, 14].

Решений рассматриваемой проблемы возможно предложить несколько. Их оптимальность будет зависеть от конкретных природно-производственных условий труднодоступных лесных участков – таксационных характеристик, развитости транспортной сети, наличия и специфики деревообрабатывающих и деревоперерабатывающих предприятий, конъюнктуры спроса на продукцию, причем не только на основе древесины, но и на недревесную, например, пищевые ресурсы лесных дикоросов, которые, как показывает практика, могут приносить прибыль большую, нежели заготовка и переработка древесины [15].

С точки зрения удаленных лесных массивов, вдали от дорог, прежде всего следует ориентироваться на возможности водного транспорта. Например, в уже упомянутой Республике Саха (Якутия) около 500 тыс. больших, средних и малы рек и речек общей протяженностью более 1,5 млн. км. В сезон «большой воды», весной, по ним можно доставлять на баржах различных размеров и осадки персонал и технику (машины и оборудование) и для заготовки и первичной обработки древесины, и недревесной продукции леса [10]. Причаливая в заранее установленных местах, используя принцип вахтовой организации работ, данные водные транспортные средства могут служить основой береговых лесных терминалов (непостоянных, мелких лесных складов, типа 4НС, с путями примыкания суша-вода). Их готовая продукция может оперативно доставляться

несамоходными судами с низкой осадкой – лихтерами, с использованием подходящих для конкретных условий катеров.

Такой вариант известен как «баржево-лихтерный» способ освоения участков лесного фонда. Перечень и параметры доставляемых баржей лесных машин и оборудования будет зависеть от природно-производственных условий осваиваемого удаленного участка лесного фонда – таксационных характеристик, объемов заготовки, предпочтительного перечня видов готовой продукции берегового лесного терминала.

В сезон «малой воды», летом, необходимые расходные материалы, включая продукты питания, расходные материалы и запасные части для машин и оборудования терминала, топливно-смазочные материалы, и т.д. могут доставляться катерами, обслуживающими лихтерные перевозки готовой продукции, например, в порожних лихтерах, по принципу возвратной тары.

С целью минимизации количества доставляемых к береговому терминалу грузов следует заранее выбирать для их размещения места, с наличием поблизости источников питьевой воды, желательно с возможностью добычи рыбы и дичи.

Для используемых лесных машин, ручных моторных инструментов потребуется определенное количество дизельного топлива, бензина, и т.д., которые, как отмечено выше, придется доставлять до терминала. Зато для привода деревообрабатывающего оборудования, включая, при необходимости, мобильные сушильные камеры для пиломатериалов, и/или для грибов, ягод, лекарственных растений, освещения терминала и прочие нужды, можно использовать местные энергетические ресурсы. К таким ресурсам, прежде всего, относятся порубочные остатки и отходы деревообработки лесного терминала, которые можно эффективно преобразовывать в тепловую и электрическую энергию, например, при помощи современных отечественных газогенераторных установок [11-13, 16]. Во-вторых, поскольку рассматриваемый вариант касается выполнения работ в теплое время года, возможно использовать энергию течения реки, установив через ее русло, если есть такая возможность, гирлянды МикроГЭС, или установить их у одного берега, в зависимости от конкретной ситуации. Современные МикроГЭС могут быть установлены даже в достаточно широкие ручьи (рисунок 1).

Третьим вариантом получения энергии для берегового терминала может быть солнечная энергия, получаемая от различных установок на основе солнечных батарей. Но целесообразность их использования будет существенно зависеть от климатических особенностей региона расположения берегового лесного терминала. Например, вся территория уже упомянутой Республики Саха (Якутия) относится к зоне с высокой инсоляцией, ив ее условиях использование мобильной солнечной энергетики вполне может быть оправдано.

В принципе, диверсификация альтернативных (местных) источников энергии для берегового лесного терминала, например, газогенератор + МикроГЭС, или газогенератор + солнечные панели, вполне может быть оправдана. Но основной энергетического обеспечения берегового лесного терминала должна быть энергия, получаемая в газогенераторе из порубочных остатков и отходов основного производства терминала (опилки, горбыли, рейки, оторцовки).

Что касается перечня и параметров, доставляемых для освоения удаленного лесного массива лесных машин, то следует ориентироваться на то, что помимо рубок спелых и перестойных насаждений, возможно сбора дикоросов, арендаторам данных лесных участков, в период проведения основных работ придется заниматься также лесохозяйственными операциями, прежде всего лесовосстановлением на вырубленных площадях, а также лесопожарным обустройством, и, вероятно, борьбой с лесными пожарами. Поскольку, подчеркнем еще раз, предлагаемый вариант предусматривает проведение работ в теплое время года, а значит в пожароопасный период.

Рисунок 1. МикроГЭС в ручьях

Исходя из достаточно обширного перечня работ, и очевидной необходимости минимизации количества машин, доставляемых к береговому лесном терминалу, крайне желательно при комплектовании системы машин исходить из модульного принципа, предусматривающего возможность переоснащения базовых машин под различные задачи, т.е. возможность их трансформации в транспортно-технологические комплексы различного назначения.

При этом, с учетом того, что рассматриваемая проблема в основном касается северных территорий Российской Федерации, базовые машины (базовые шасси) должны быть, с одной стороны, высокопроходимыми, с другой стороны, оказывать минимально возможное негативное воздействие на компоненты лесной среды, прежде всего на почвогрунты и корневые системы.

Таким требованиям отвечают, прежде всего, колесные вездеходные машин на пневматиках сверхнизкого давления, и гусеничные вездеходные машины, оснащенные широкими резинометаллическими гусеницами. Такие машины вполне возможно оснащать и переоснащать под различные задачи, включая лесохозяйственные, противопожарные, и др. [4, 7, 17, 18].

Очевидно, что при освоении лесного участка потребуется создать дорожную сеть, от разрабатываемых лесосек к береговому лесному терминалу. При это доставка и эксплуатация специальной дорожно-строительной техники (бульдозеров, экскаваторов, самосвалов, грейдеров, и т.д.) в рассматриваемом варианте практически исключена. Также исключен и вариант зимних лесных дорог (зимников), поскольку речь идет об освоении лесного массива в теплый период года.

В рассматриваемом случае наиболее перспективным вариантом представляется использование современных пластиковых сборно-разборных дорожных покрытий, не

требующих для их монтажа предварительной подготовки грунтового основания. Их можно доставлять до места, монтировать, а затем демонтировать при помощи обычного форвардера. Их большим достоинством также являются простота, малая трудоемкость, и, соответственно, большая скорость создания транспортного пути, малый вес, особенно по сравнению с железобетонными плитами, возможность реального многократного использования, предотвращение негативного воздействия на почвогрунты.

Такие сборно-разборные дорожные пластиковые маты производятся и в Российской Федерации, успешно используются нефтегазовыми компаниями, а также крупными лесными компаниями. К отрицательным моментам их использования можно отнести их большую стоимость, которая, будучи отнесена на себестоимость продукции берегового терминала, с учетом его небольшого грузооборота, может сделать ее нерентабельной. Но в России достаточно широко распространена практика аренды таких сборно-разборных дорожных пластиковых матов. Такой вариант позволит существенно снизить затраты на создание необходимо для освоения лесосек дорожной сети.

В благоприятных условиях вполне достаточно будет просто укрепления проезжей части порубочными остатками, а при сухой погоде, на почвогрунтах I и II категории возможно будет обойтись и простой расчисткой трассы.

Производить и транспортировать в качестве готовой продукции берегового лесного терминала технологическую щепу, в подавляющем большинстве случаев будет экономически нецелесообразно, как минимум ввиду малого коэффициента полнодревесности, а также необходимости достатвки до терминала и эксплуатации в полевых условиях окорочного оборудования и рубительной машины.

Порубочные остатки, отходы основного производства терминала, низкокачественную древесину можно использовать в качестве источника энергии. В ряде случаев, можно рассмотреть возможность использования мобильных установок для модификации мягколиственной древесины путем ее пропитки и уплотнения.

Как уже было отмечено, при проектировании системы машин берегового лесного терминала следует предусмотреть возможность, при наличии целесообразности, сбора и переработки (сушки, консервации) ресурсов недревесной продукции осваиваемых лесных участков, прежде всего пищевых и лекарственных дикоросов, стоимость такой продукции достаточно высока, как внутреннем, так и на внешних рынках.

Такая диверсификация производства берегового лесного терминала должна положительно сказаться на экономической эффективности его работы.

В качестве основной готовой продукции берегового лесного терминала, в большей части случаев, должны рассматриваться обрезные пиломатериалы, прежде всего брус, пакеты которых имеют максимальный коэффициент полнодревесности. Возможно будет целесообразна предварительная подсушка данной пилопродукции в мобильных сушильных камерах, с целью снижения веса пакетов. Это позволит транспортирующим их лихтерам иметь меньшую осадку, что может быть достаточно важным при существенном падении уровня воды в реке в летний период.

Разумеется, под каждый вариант природно-производственных условий требуется выполнить подбор оптимальной системы машин и оборудования, включая источники энергоснабжения, а также период развертывания, эксплуатации, и свертывания берегового лесного терминала, чтобы транспортирующая эти машины и персонал баржа-носитель могла успеть доставить их до ледостава в исходный пункт формирования «на базу». А также исходя из экономической целесообразности применения рассматриваемой технологии в каждом конкретном случае.

Список литературы

1. Григорьев В.Ф., Фокинов А.М., Шадрин И.И., Куницкая О.А. Экономические аспекты эффективного использования низкотоварной древесины // Актуальные аспекты управления и экономики в современных условиях. Сборник материалов IX Всероссийского молодежного научного форума. 2017. С. 160-163.

2. Григорьева О.И., Гринько О.И., Гурьев А.Ю. Перспективная технология лесовосстановления после крупных и катастрофических лесных пожаров // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Восьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2022. С. 52-54.

3. Григорьева О.И., Гринько О.И., Николаева Ф.В. Весенний отжиг для снижения пожароопасности лесов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Восьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2022. С. 54-55.

4. Григорьева О.И., Гринько О.И., Николаева Ф.В. Лесопожарные транспортно-технологические комплексы на базе колесных форвардеров // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. Тюмень, 2021. С. 55-58.

5. Гринько О.И., Григорьева О.И. Молнии как причины лесных пожаров // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 50-52.

6. Гринько О.И., Шапиро В.Я., Григорьева О.И., Григорьев М.Ф., Степанова Д.И., Григорьева А.И. Инновационный способ остановки верховых лесных пожаров // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 56. С. 15-18.

7. Дьяченко В. М., Должиков И. С., Куницкая О. А., Марков В. А., Макуев В. А., Охлопкова М. К. Обоснование вида движителя лесной машины по критерию экологичности для условий Крайнего Севера // Resources and Technology. 2025. №3, Т. 22. С. 1–62.

8. Куницкая О.А. Низкотоварная древесина как проблема общероссийского масштаба // Леса России в XXI веке. Материалы одиннадцатой международной научно-технической интернет-конференции, посвященной 85 -летию Лесоинженерного факультета СПбГЛТУ и 95 -летию кафедры Сухопутного транспорта леса. Коллектив авторов. 2014. С. 85-93.

9. Куницкая О.А. Ресурсы низкотоварной древесины в субъектах Российской Федерации // Наука, образование, инновации в приграничном регионе. Материалы республиканской научно-практической конференции. Петрозаводский государственный университет. 2015. С. 15-17.

10. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С. Повышение эффективности труднодоступных лесных массивов за счет расширения ассортимента готовой продукции, выпускаемой на мобильных лесопромышленных складах // Леса России в XXI веке. Материалы девятой международной научно-технической интернет - конференции. 2012. С. 83-86.

11. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Функциональные возможности и эксплуатационные характеристики средств энергоснабжения лесных терминалов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 102-103.

12. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Эффективная система преобразования тепловой энергии в электрическую для энергоснабжения лесных терминалов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 104-105.

13. Куницкая О.А., Помигуев А.В., Афоничев Д.Н., Григорьев В.И., Дмитриева И.Н., Григорьев Г.В. Альтернативные источники энергии для автономного энергоснабжения удаленных объектов сельского хозяйства и лесного комплекса // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 1 (72). С. 71-81.

14. Куницкая О.А., Пудова Т.М., Никитина Е.И. Перспективные направления переработки низкотоварной древесины и древесных отходов в Республике Саха (Якутия) //

Потенциал науки и образования: современные исследования в области агрономии, землеустройства, лесного хозяйства. 2019. С. 14-18.

15. Куницкая О.А., Степанова Д.И., Григорьев М.Ф. Транспортно-технологические системы для сбора и переработки пищевой продукции леса // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. 2018. С. 102-108.

16. Куницкая О.А., Стородубцева Т.Н., Помигуев А.В. Энерго-ресурсосберегающие технологии электроснабжения лесных терминалов // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике. материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2021. С. 112-117.

17. Тетеревлева Е.В., Гринько О.И., Григорьева О.И. Транспортно-технологические машины для тушения лесных пожаров на базе колесных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. 2020. С. 374-377.

18. Чемшикова Ю.М., Давтян А.Б., Григорьева О.И. Транспортно-технологические системы для лесоразведения на базе гусеничных вездеходов // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. 2020. С. 400-403.

References

1. Grigorev V.F., Fokinov A.M., Shadrin I.I., Kunitskaya O.A. Economic aspects of effective use of low-commodity wood // Actual aspects of management and economics in modern conditions. Collection of materials of the IX All-Russian Youth Scientific Forum. 2017. pp. 160-163.

2. Grigoreva O.I., Grinko O.I., Guryev A.Yu. Promising technology of reforestation after large and catastrophic forest fires // Improving the efficiency of the forest complex. Materials of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk, 2022. pp. 52-54.

3. Grigoreva O.I., Grinko O.I., Nikolaeva F.V. Spring annealing to reduce the fire hazard of forests // Improving the efficiency of the forest complex. Materials of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk, 2022. pp. 54-55.

4. Grigoreva O.I., Grinko O.I., Nikolaeva F.V. Forest fire transport and technological complexes based on wheeled forwarders // Transport and transport and technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Editor-in-chief N.S. Zakharov. Tyumen, 2021. pp. 55-58.

5. Grinko O.I., Grigoreva O.I. Lightning as causes of forest fires // Improving the efficiency of the forest complex. Materials of the Sixth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk, 2020. pp. 50-52.

6. Grinko O.I., Shapiro V.Ya., Grigoreva O.I., Grigorev M.F., Stepanova D.I., Grigoreva A.I. An innovative way to stop riding forest fires // Actual problems of the forest complex. 2020. No. 56. pp. 15-18.

7. Dyachenko V. M., Dolzhikov I. S., Kunitskaya O. A., Markov V. A., Makuyev V. A., Okhlopkova M. K. Substantiation of the type of propulsion of a forest vehicle according to the criterion of environmental friendliness for the conditions of the Far North // Resources and Technology. 2025. No. 3, Vol. 22. P. 1-62.

8. Kunitskaya O.A. Low-commodity wood as a problem of national scale // Forests of Russia in the 21st century. Materials of the eleventh international scientific and technical Internet conference dedicated to the 85th anniversary of the Faculty of Forestry Engineering of St. Petersburg State Technical University and the 95th anniversary of the Department of Land Transport of Forests. The team of authors. 2014. pp. 85-93.

9. Kunitskaya O.A. Resources of low-commodity wood in the subjects of the Russian Federation // Science, education, innovations in the border region. Materials of the Republican scientific and practical conference. Petrozavodsk State University. 2015. pp. 15-17.

10. Kunitskaya O.A., Burmistrova S.S. Improving the efficiency of inaccessible forests by expanding the range of finished products produced in mobile timber warehouses // Forests of Russia in the 21st century. Proceedings of the ninth International Scientific and Technical Internet Conference. 2012. pp. 83-86.

11. Kunitskaya O.A., Pomiguev A.V. Functional capabilities and operational characteristics of energy supply facilities for forest terminals // Improving the efficiency of the forest complex. Proceedings of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk, 2021. pp. 102-103.

12. Kunitskaya O.A., Pomiguev A.V. An effective system for converting thermal energy into electrical energy for power supply of forest terminals // Improving the efficiency of the forest complex. Proceedings of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk, 2021. pp. 104-105.

13. Kunitskaya O.A., Pomiguev A.V., Afonichev D.N., Grigorev V.I., Dmitrieva I.N., Grigorev G.V. Alternative energy sources for autonomous power supply of remote agricultural and forestry facilities // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2022. Vol. 15. No. 1 (72). pp. 71-81.

14. Kunitskaya O.A., Pudova T.M., Nikitina E.I. Promising areas of processing low-commodity wood and wood waste in the Republic of Sakha (Yakutia) // Potential of science and education: modern research in the field of agronomy, land management, forestry. 2019. pp. 14-18.

15. Kunitskaya O.A., Stepanova D.I., Grigorev M.F. Transport and technological systems for collecting and processing forest food products // Energy efficiency and energy conservation in modern production and society. Materials of the international scientific and practical conference. Under the general editorship of V.A. Gulevsky. 2018. pp. 102-108.

16. Kunitskaya O.A., Storodubtseva T.N., Pomiguev A.V. Energy-resource-saving technologies for power supply of forest terminals // Ecological and resource-saving technologies in science and technology. materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Voronezh, 2021. pp. 112-117.

17. Teterevleva E.V., Grinko O.I., Grigoreva O.I. Transport and technological machines for extinguishing forest fires based on wheeled all-terrain vehicles // Transport and transport and technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Editor-in-chief N.S. Zakharov. 2020. pp. 374-377.

18. Chemshikova Yu.M., Davtyan A.B., Grigoreva O.I. Transport and technological systems for afforestation based on tracked all-terrain vehicles // Transport and transport and technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Editor-in-chief N.S. Zakharov. 2020. pp. 400-403.

DOI: 10.58168/Forestry2025_677-684
УДК 630 372/375

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОЙ НОРМЫ ВРЕМЕНИ

А.С. Швецов
начальник учебной лаборатории,
Филиал Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»
И.С. Должиков
к.т.н., доцент кафедры техносферной безопасности,
О.И. Григорьева
к.с-х.н., доцент кафедры Лесоводства
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
И.В. Григорьев
д.т.н., профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса»,
Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск

Аннотация.
На производительность лесных машин оказывает влияние очень большое количество часто меняющихся природно-производственных факторов, к основным из которых можно отнести таксационные характеристики насаждений, почвенно-грунтовые и рельефные, климатические. Значительное влияние оказывают техническое состояние машины, квалификация оператора, принятый технологический процесс выполнения работ. Для анализа производительности лесных машин, бригад, возможно использовать комплексную норму времени. Это позволяет упростить анализ, не снижая качества его результатов.

Ключевые слова: лесосечные работы, лесохозяйственные работы, лесные машины, производительность лесных машин, комплексная норма времени.

PERFORMANCE ANALYSIS OF FOREST MACHINERY USING A COMPREHENSIVE TIME RATE

A.S. Shvetsov
Head of the educational laboratory,
Branch of the Military Training and Scientific Center of the Air Force "Military Air Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" in Syzran, 2, Syzran, Russia
I.S. Dolzhikov
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Russia
O.I. Grigorieva
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia

© Швецов А. С., Должиков И. С., Григорьева О. И., Григорьев И. В., 2025

I.V. Grigorev
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Equipment of the Forest Complex,
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Abstract. The productivity of forest machinery is influenced by a very large number of frequently changing natural and industrial factors, the main of which include the taxation characteristics of plantings, soil-soil and relief, climatic. The technical condition of the machine, the qualifications of the operator, and the accepted technological process of work have a significant impact. It is possible to use a complex time frame to analyze the performance of forest machines and crews. This allows you to simplify the analysis without reducing the quality of its results.

Keywords: logging operations, forestry operations, forest machinery, productivity of forest machinery, complex time rate.

В настоящее время крупные и средние лесопромышленные компании России, выполняющие лесосечные и лесохозяйственные работы на арендованных участках лесного фонда, максимально используют различные лесные машины, сокращая долю ручного труда. Часть таких лесных машин относится к универсальным – выполняющим весь комплекс работ. Это, например, валочно-трелевочно-процессорные машины (ВТПМ) «Highlander», производства австрийской семейной компании Konrad Forsttechnik GmbH, имеющие техническую возможность работать как по сортиментной, так и по хлыстовой технологии заготовки древесины, выполняя весь комплекс основных лесосечных работ – валку деревьев, сбор пачки, обрезку сучьев, раскряжевку, штабелевку, и погрузку. Данные машины могут быть успешно использованы не только на рубках спелых и перестойных насаждений, но и для проведения рубок ухода (прореживания и проходных). А также широкозахватные посадочные машины, например, шведской компании Bracke Forest, выполняющие весь комплекс основных работ по посадке сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) – дискретную подготовку посадочных мест, внесение водя и удобрений, посадку, уплотнение почвы у корневой шейки.

Производительность лесных машин зависит от большого количества факторов, меняющихся достаточно часто и в большом диапазоне [5, 7, 10]. Традиционно, при натурном и теоретическом исследовании производительности лесных машин принято разбивать их работу на элементарные операции. Например, для широкозахватной лесозаготовительной машины – наводка гидроманипулятора на дерево, зажим ствола захватно-срезающим устройством (ЗСУ), или харвестерной головкой, спиливание дерева, сталкивание (снятие) дерева с пня, укладка на землю, и т.д. [1-3]. Такой подход был оправдан при исследовании лесных машин XX века, не имевших современных скоростей работы технологического оборудования.

Основным источником информации при экспериментальном изучении работы лесных машин являются фотохронометражные наблюдения, позволяющие оценить структуру и величину затрачиваемого времени по составляющим приемам. При подготовке к проведению фотохронометража составляется характеристика изучаемого процесса, операции разбиваются на составляющие приемы, и назначаются фиксажные точки, определяется перечень учитываемых производственных факторов, методы их учета и измерения в процессе наблюдений. Разбиение операции на прием и назначение фиксажных точек обычно производится в соответствии с типовыми рекомендациями, работами предшественников [4].

Но качественно выполнить фотохронометраж отдельных операций при современных скоростях движений технологического оборудования лесных машин далеко не всегда представляется возможным. Это связано, в том числе, и с необходимостью для наблюдателя соблюдать зону безопасности, особенно при работе широкозахватной лесозаготовительной машины, которая может достигать 90 м. Наблюдателю могут мешать элементы древостоя,

при этом его задача не влиять на исследуемый технологический процесс. Кроме того, известна рекомендация «При наблюдениях за операциями, состоящими из приемов значительной продолжительности (более 1 мин), например, на трелевке тракторами и т.д., точность учета затрат рабочего времени может быть принята в 1 мин. В тех случаях, когда в составе операции имеют место кратковременные приемы (менее 1 мин.) наблюдения должны проводиться с точностью до секунд». Но в условиях лесосеки обеспечить точность отсечки конца одного рабочего приема и начала следующего, например для современных лесозаготовительных машин, крайне затруднительно, что делает результаты поэлементных измерений затрачиваемого на единичный предмет труда недостаточно точными.

Также отметим, что на практике, в подавляющем большинстве случаев, не используют показатели не только поэлементных затрат времени, но даже и показатель часовой производительности [6]. Основной используемой на практике характеристикой является производительность сменная [9]. При этом для универсальных лесных машин, выполняющих весь комплекс основных лесосечных или лесохозяйственных работ, показатель производительности, фактически, равен показателю производительности бригады. Рассмотрим использование комплексной нормы времени на примере ВТПМ «Highlander».

Как известно из теории технологических процессов лесосечных работ, комплексная норма времени показывает, за какой период один кубометр древесины пройдет всю технологическую цепочку лесозаготовительной бригады [8].

Также известно, что лесозаготовительные бригады, в зависимости от перечня выполняемых технологических операций основных лесосечных работ принято подразделять на следующие виды:

Функциональные – выполняют 1-3 операции технологического процесса лесосечных работ, отделенные во времени от остальных. Изначально, это обычно была валка деревьев. В настоящее время – это обычно погрузка древесины на лесовозный транспорт. В редких случаях, при работе по канадской технологии, функциональная бригада может включать самоходную сучкорезно-раскряжевочную машину (процессор) и погрузчик.

Малые комплексные (комплексные) - выполняют комплекс операций основных лесосечных работ от валки деревьев до штабелевки заготовленной древесины, в требуемом виде (обычно, сортименты или хлысты) на верхнем складе/погрузочном пункте.

Укрупненные комплексные – выполняют комплекс операций основных лесосечных работ от валки деревьев до погрузки заготовленной древесины, в требуемом виде (обычно, сортименты или хлысты) на лесовозный транспорт.

Сквозная - выполняют комплекс операций основных лесосечных работ от валки деревьев до вывозки заготовленной древесины, в требуемом виде (обычно, сортименты или хлысты).

Новые для российских лесозаготовителей одномашинные комплексы – валочно-трелевочно-процессорные машины (ВТПМ) «Highlander», производства австрийской семейной компании Konrad Forsttechnik GmbH, по своим техническим возможностям отвечают перечню операций, возлагаемых на укрупненные комплексные бригады. Хотя в большей части случаев их используют для выполнения перечня операций, соответствующих малой комплексной бригаде. То есть, ВТПМ при максимальном использовании ее технических возможностей может выполнять следующий перечень операций: валку деревьев (В), формирование пакета (Фп), трелевку (Т), очистку деревьев от сучьев (Ос), раскряжевку (Р), штабелевку (Ш), погрузку древесины на лесовозный транспорт (П). Причем операция очистки деревьев от сучьев может выполняться ВТПМ на пасеке, после валки, или на верхнем складе, после трелевки.

Комплексную норму времени ($t_к$) принято определять по формуле:

$$t_{\text{к}} = \sum_{i=1}^{i=n} t_i, \tag{1}$$

где: n – число операций, выполняемых ВТПМ, t_i – затраты времени на i-операцию, отнесенную на 1 м^3 заготовленной древесины.

Последовательность выполняемы ВТПМ технологических операций в выражении для определения комплексной нормы времени можно записать следующим образом:

$$t_к = \sum t_В + t_{Фп} + t_Т + t_{Oс} + t_Р + t_Ш + t_П, \quad (2)$$

для случая трелевки деревьев, обрезки сучьев и раскряжевки на верхнем складе.

Илидля случая обрезки сучьев на пасеке, трелевки хлыстов, и раскряжевки на верхнем складе.

В полной комплектации, в случае необходимости, ВТПМ «Highlander» может трансформироваться в харвардер, в этом случае:

$$t_к = \sum t_В + t_{Oс} + t_Р + t_{Фп} + t_Т + t_Ш + t_П. \quad (3)$$

В свою очередь, все указанные в выражениях (2)-(3) составляющие могут быть более подробно раскрыты. Например, часовую производительность ВТПМ, в цикле валка-трелевка можно выразить следующим образом:

$$П_ч = \frac{3600 V_п f_1}{T_ц}, \quad (4)$$

где: f_1 – коэффициент использования расчетного объема пачки (0,8-0,9); $T_ц$ – время цикла набора пачки и трелевки пачки, с.

$$Т_ц = t_1 + t_2 + t_3, \quad (5)$$

где: t_1 – время холостого хода ВТПМ, с; t_2 – время набора пачки, с; t_3 – время грузового хода ВТПМ, с.

Время холостого и грузового ходов ВТПМ будет зависеть от среднего расстояния трелевки, и средней скорости в холостом и грузовом направлении. При этом следует учесть, что расстояние грузового хода будет меньше, чем расстояние холостого хода, как минимум на длину ленты набора пачки:

$$l_n = 10^4 \frac{V_n}{q b_л}, \quad (6)$$

где $V_п$ – объем формируемой пачки, м^3; q – запас леса на 1 га, м^3; $b_л$ – ширина ленты, разрабатываемая ВТМ за один проход, м. У полноповоротных ВТПМ Highlander HL10-2 и Highlander HL20-2 вылет гидроманипулятора составляет 10,5 м. Следовательно, $b_л$ – 21 м.

Согласно теории технологических процессов лесосечных работ, технологические операции делятся на:

- рабочие, предусматривающие обработку (изменение размеров, формы, свойств) неподвижного предмета труда;
- транспортные, предусматривающие перемещение (изменение места расположения) предмета труда;
- смешанные, предусматривающие обработку предмета труда одновременно с его перемещением.

При проведении натурных производственных испытании ВТПМ «Highlander» была обнаружена следующая основная сложность хронометража ее работы: точно разделить время, затрачиваемое на спил растущего дерева, до начала его падения (рабочая операция) и время его падения (транспортная операция) практически невозможно с достаточной точностью. Это же касается и работы ВТПМ в режиме процессора – разделить время, затрачиваемой на обрезку сучьев, при протаскивании ствола через харвестерную головку (смешанная операция), и пиления при раскряжевке (рабочая операция), с последующим падением отпиленного сортимента в штабель (штабелевка – транспортная операция): $t_{Oс} + t_Р + t_Ш$. Также это, очевидно касается варианта работы ВТПМ «Highlander» в компоновке харвардера – обрезка сучьев – раскряжевка, с одновременной укладкой отрезанного сортимента в кузов с кониками: $t_{Oс} + t_Р + t_{Фп}$.

Кроме этого, как было отмечено выше, комплексная норма времени определяется на 1 м^3 заготовленной древесины, прошедший всю технологическую цепочку бригады, или, в нашем случае – всю технологическую цепочку ВТПМ «Highlander». Очевидно, что каждый ствол имеет, как минимум, разный объем, а также длину, влияющую на скорость обрезки сучьев харвестерной головкой. В пачке древесины, трелюемой ВТПМ «Highlander» объем всегда разный, и значительно больше 1 м^3.

В этой связи, при проведении натурных производственных испытании было принято решение об укрупнении учитываемых элементов технологического процесса работы ВТПМ «Highlander». С выделением отдельно основных транспортных операций: холостой ход, перемещения между технологическими стоянками при наборе пачки, трелевки собранной пачки на верхний склад, а также укрупненных транспортно-технологических, включающих на пасеке время спиливания, валки деревьев, укладки их в кониковый зажим на одной технологической стоянке, при трелевке деревьями, или включающих на пасеке время спиливания, валки деревьев, обрезки сучьев, укладки хлыстов в кониковый зажим на одной технологической стоянке, при трелевке хлыстами. На верхнем складе комплексной учитывалось время, затрачиваемое на обрезку сучьев, раскряжевку и штабелевку сортиментов, при трелевке деревьями, или время, затрачиваемое на раскряжевку и штабелевку сортиментов, при трелевке хлыстами.

Предварительно притрелеванная пачка деревьев (хлыстов) измерялась в кониковом зажиме. Исходя их объема притрелеванной пачки определялся показатель комплексной нормы времени, в пересчете на 1 м^3.

Работа ВТПМ в комплектации харвардера не исследовалась.

Такой подход позволил упростить измерения, и сделать их точнее. При этом отрицательно на качестве результатов технологического анализа работы ВТПМ данный подход также не сказался.

Такой подход справедлив как при исследовании работы ВТПМ на рубках спелых и перестойных насаждений (сплошных и выборочных), так и при проведении рубок ухода за лесом. Результаты натурных исследований показали общий тренд зависимости от таких природно-производственных факторов как запас леса на га, средний объем хлыста, процент выборки насаждения, среднее расстояние трелевки.

Как было отмечено выше, такой подход должен быть справедлив и для работы посадочных машин. Только в данном случае комплексную норму времени следует трактовать не на кубометр заготовленной древесины, а на га лесокультурной площади. При этом для широкозахватной посадочной машины типа Bracke Forest можно также объединять фазы операций для одной технологической стоянки, и отдельно учитывать время перемещения между технологическими стоянками.

Для широкозахватной посадочной машины типа Bracke Forest можно сформулировать следующие зависимости для теоретического определения производительности, при ее движении прямолинейными коридорами:

Площадь, засаживаемая сеянцами с одной технологической стоянки:

$$S_{\text{л}} = (R - r)b_{\text{л}}, \quad (7)$$

где: R – максимальный вылет гидроманипулятора посадочной машины, м; r – минимальный вылет гидроманипулятора посадочной машины, м.

Время перемещения посадочной машины между двумя смежными технологическими стоянками при выполнении посадки сеянцев:

$$t_{\text{тс.см}} = \frac{(R-r)}{v_{\text{р}}}, \quad (8)$$

где: v_p – рабочая скорость движения посадочной машины по лесокультурной площади.

Время, затрачиваемое на посадку одного сеянца с ЗКС

$$\text{Т}_{\text{пос}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \quad (9)$$

где: t_1 – время наводки посадочной головки гидроманипулятором к выбранному оператором дискретному месту посадки, с; t_2 – время создания микроповышения («кочки»), с; t_3 – время подачи порции води и удобрений, с; t_4 – время выдачи сеянца и револьверного барабана посадочной головки, с; t_5 – время уплотнения почвы у корневой шейки сеянца, с.

Как видно, на практике, при проведении фотохронометража практически невозможно наблюдателю выделить составляющие выражения (10) фазы для конкретного сеянца, даже несмотря на значительно меньшую зону безопасности и отсутствие, в большей части случаев, элементов древостоя, мешающих наблюдателю. Для оценки работы посадочной машины этого, в принципе, и не требуется. Достаточно выделить фазу технологических работ посадочной головки на всю площадь, засаживаемую с одной технологической стоянки, и время перемещения между технологическим стоянками.

Согласно Правилам лесовосстановления, утвержденным приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.12.2021 г. № 1024, при посадке искусственном лесовосстановлении сеянцами с ЗКС количество высаживаемых растений для большинства древесных пород (кроме дуба) должно составлять не менее 2,0 тыс. штук на 1 га.

Посадочную головку типа Bracke Forest, в принципе, можно установить на любую широкозахватную машину, подходящую под технические требования по массе и мощности гидравлического потока. Например, при максимальном вылете гидроманипулятора полноповоротной широкозахватной машины-носителя в 9,4 м, и минимальном вылете гидроманипулятора в 4,0 м, по аналогии с широкозахватной полноповоротной лесозаготовительной машиной, максимальная площадь, засаживаемая посадочной машиной с одной технологической стоянки, составит:

$$F = \left[\frac{\varphi R - r}{2}\sqrt{4(\varphi R)^2 - (\varphi R - r)^2} + 2\varphi R^2 arcsin\frac{\varphi R - r}{2\varphi R}\right], \quad (10)$$

где: φ – коэффициент использования максимального вылета гидроманипулятора, для лесопосадочной машины примем 0,9.

Вычисление по формуле (11) по заданным значениям дает значение F=85 м^2. Или 0,0085 га. Тогда, исходя из требований Правил лесовосстановления, с одной технологической стоянки широкозахватная полноповоротная посадочная машина, в среднем, будет высаживать 17 сеянцев.

Число высаживаемых сеянцев с ЗКС на одной технологической стоянке, с учетом требований Правил лесовосстановления определим из выражения:

$$n_c = \frac{F}{10^4}2000. \quad (11)$$

Для лесокультурной площади правильной формы, путь, проходимый широкозахватной полноповоротной посадочной машиной, по аналогии с широкозахватной полноповоротной лесозаготовительной машиной, составит:

$$L_{\text{лп}} = \frac{\text{AB}(R-r)}{F}, \quad (12)$$

где: А, В – размеры обрабатываемой лесокультурной площади, или ее части, м.

Если выполнить расчет выражения (12) на 1 га лесокультурной площади (исходя из принципа комплексной нормы времени), с учетом полученного результат расчет по выражению (11), $L_{лп}$ составит 635 м.

Зная среднюю скорость перемещения лесопосадочной машины между технологическими стоянками, а также время обработки (засаживания) одной технологической стоянки, можно исследовать и прогнозировать производительность широкозахватной полноповоротной посадочной машины укрупненно, не затрачивая время на определение составляющих выражения (10).

Список литературы

1. Богданов Е.Н. Повышение производительности валочно-пакетирующей машины типа ЛП-19 за счёт совершенствования траектории движения рабочего органа // Resources and Technology. 2024. Т. 21. № 1. С. 26-39.

2. Богданов Е.Н. Повышение эффективности работы валочно-пакетирующих машин совершенствованием системы управления рабочим органом // Ресурсы и технологии: интеграция науки и бизнеса. Материалы I Международного инженерного форума. Петрозаводск, 2024. С. 30-32.

3. Богданов Е.Н., Полянин И.А., Егоров А.В., Багаутдинов И.Н. Совершенствование движения рабочего органа валочно-пакетирующей машины ЛП-19 // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 153-160.

4. Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Рудов С.Е., Куницкая О.А., Григорьев И.В. Экспериментальные исследования производительности форвардера с учетом его эксплуатационных характеристик, параметров лесосеки, и физико-механических свойств почвогрунта // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 1. С. 94-124.

5. Бурмистрова О.Н., Просужих А.А., Хитров Е.Г., Куницкая О.А., Лунева Е.Н. Теоретические исследования производительности форвардеров при ограничениях воздействия на почвогрунты // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 3 (381). С. 101-116.

6. Давтян А.Б., Куницкая О.А., Григорьев М.Ф., Степанова Д.И., Григорьева А.И. Основы повышения эффективности систем машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 56. С. 19-22.

7. Куницкая О.А., Никитина Е.И., Николаева Ф.В. Особенности лесозаготовки в Республике Саха Якутия // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 255-летию Землеустройству Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 308-313.

8. Куницкая О.А., Просужих А.А., Каляшов В.А. Эколого-экономическая эффективность эксплуатации форвардеров // Вестник АГАТУ. 2021. № 2 (2). С. 44-53.

9. Мамматов В.О., Мохирев А.П. Комплекс лесных машин как определяющий фактор производительности лесозаготовительного производства // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ответственные редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. 2019. С. 7-9.

10. Никитина Е.И., Куницкая О.А., Николаева Ф.В. Проект организации лесозаготовок в условиях Алданского лесничества с применением многооперационных лесозаготовительных комплексов // Современные проблемы и достижения аграрной науки в Арктике. Сборник научных статей по материалам Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2020» (29–30 сентября 2020 г., Якутск) и Международной научной онлайн летней школы – 2020 (6–20 июля 2020 г., Якутск). 2020. С. 138-148.

References

1. Bogdanov E.N. Improving the productivity of an LP-19 type fulling machine by improving the trajectory of the working body // Resources and Technology. 2024. Vol. 21. No. 1. pp. 26-39.

2. Bogdanov E.N. Improving the efficiency of fulling machines by improving the control system of the working body // Resources and technologies: the integration of science and business. Proceedings of the First International Engineering Forum. Petrozavodsk, 2024. pp. 30-32.

3. Bogdanov E.N., Polyanin I.A., Egorov A.V., Bagautdinov I.N. Improving the movement of the working body of the LP-19 rolling machine // Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University. 2020. No. 1. pp. 153-160.

4. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Rudov S.E., Kunitskaya O.A., Grigorev I.V. Experimental studies of forwarder productivity taking into account its operational characteristics,

cutting area parameters, and physico-mechanical properties of the soil // Resources and Technology. 2021. Vol. 18. No. 1. pp. 94-124.

5. Burmistrova O.N., Prosuzhikh A.A., Khitrov E.G., Kunitskaya O.A., Luneva E.N. Theoretical studies of forwarders' productivity under restrictions of impact on soils // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2021. No. 3 (381). pp. 101-116.

6. Davtyan A.B., Kunitskaya O.A., Grigorev M.F., Stepanova D.I., Grigoreva A.I. Fundamentals of increasing the efficiency of machine systems for the creation and operation of forest plantations // Actual problems of the forest complex. 2020. No. 56. pp. 19-22.

7. Kunitskaya O.A., Nikitina E.I., Nikolaeva F.V. Features of logging in the Republic of Sakha Yakutia // Land management, land management, cadastre, geodesy and cartography. Problems and prospects of development. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 255th anniversary of the Land Management of Yakutia and the Year of Science and Technology. Yakutsk, 2021. pp. 308-313.

8. Kunitskaya O.A., Prosuzhikh A.A., Kalyashov V.A. Ecological and economic efficiency of forwarder operation // Bulletin of AGATU. 2021. No. 2 (2). pp. 44-53.

9. Mammatov V.O., Mohirev A.P. Complex of forest machinery as a determining factor of logging production productivity // Innovations in the chemical and forestry complex: trends and development prospects. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Responsible editors Yu.A. Bezrukikh, E.V. Melnikova. 2019. pp. 7-9.

10. Nikitina E.I., Kunitskaya O.A., Nikolaeva F.V. A project for the organization of logging in the conditions of the Aldan forestry using multi-operational logging complexes // Modern problems and achievements of agricultural science in the Arctic. Collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian Student Scientific and Practical Conference with international participation within the framework of the Northern Forum 2020 (September 29-30, 2020, Yakutsk) and the International Scientific Online Summer School 2020 (July 6-20, 2020, Yakutsk). 2020. pp. 138-148.

DOI: 10.58168/Forestry2025_685-689
УДК 630 6:004.9

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ ЛЕСОЗАГОТОВКИ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ

В.Ю. Федоров, И.С. Есипова

преподаватель СПО кафедры ИТ, студент ФКНиТ,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация. В статье анализируется применение алгоритмических методов для оптимизации логистики в лесозаготовке. Использование графовых моделей и модификаций задач TSP и VRP позволяет при помощи метаэвристик (генетических алгоритмов, метода муравьиных колоний) сократить пробег техники на 15–25%, снизить расход топлива и выбросы. GIS-системы обеспечивают визуализацию маршрутов, а подход в целом повышает экономическую эффективность и снижает нагрузку на экосистемы.

Ключевые слова: оптимизация логистики, лесозаготовка, трелёвка, теория графов, задача маршрутизации (VRP), генетические алгоритмы, экологическая безопасность, GIS-системы.

OPTIMIZATION OF LOGGING LOGISTICS USING ROUTE PLANNING ALGORITHMS

V.Y. Fedorov, I.S. Esipova

teacher of secondary vocational education of the department of IT, student of the Faculty of Computer Science and Technology,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The article analyzes the application of algorithmic methods for optimizing logistics in the logging industry. The use of graph models and modifications of the TSP and VRP problems, combined with metaheuristics (genetic algorithms, ant colony method), makes it possible to reduce vehicle mileage by 15–25%, thereby decreasing fuel consumption and emissions. GIS systems provide route visualization, while the overall approach enhances economic efficiency and reduces the ecological impact.

Keywords: logistics optimization, logging, skidding, graph theory, vehicle routing problem (VRP), genetic algorithms, environmental safety, GIS systems.

Лесозаготовительная отрасль, являясь критически важным фундаментом для деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и строительной промышленности, традиционно сталкивается с комплексом трудоемких, ресурсоемких и экономически затратных задач. В условиях глобальной конкуренции и растущих экологических стандартов оптимизация каждого этапа производственной цепочки становится вопросом не просто эффективности, но и выживания предприятия. Одной из наиболее сложных и капиталоемких проблем является логистика на нижнем складе, а именно процессы трелевки

© Федоров В. Ю., Есипова И. С., 2025

(транспортировка спиленных деревьев или хлыстов от места валки к погрузочной площадке) и последующей вывозки сортиментов автомобильным транспортом.

Исторически сложилось, что планирование маршрутов для трелевочных тракторов (форвардеров) и лесовозов часто осуществляется опытным путем, на основе интуиции и личного опыта мастеров участков и водителей. Однако такой субъективный подход неизбежно ведет к значительным системным потерям. По данным исследований, непроизводительный пробег техники при эмпирическом планировании может достигать 15-25% от общего объема. Это напрямую транслируется в перерасход дорогостоящего дизельного топлива (до 10-15% от общей сметы проекта), повышенный износ шин и ходовой части, увеличение фонда оплаты труда из-за простаивания и неэффективного использования рабочего времени. Кроме того, хаотичное движение тяжелой техники наносит колоссальный ущерб экосистеме: происходит уплотнение почвы, разрушение подстилающих пород, повреждение корневых систем оставляемых на корню деревьев и нарушение гидрологического режима территорий, что наносит долгосрочный, а зачастую и необратимый ущерб потенциалу лесного фонда.

Современным и высокоэффективным ответом на эти многовековые вызовы становится разработка и внедрение специализированного программного обеспечения, основанного на передовых алгоритмах искусственного интеллекта и методах исследования операций для планирования маршрутов. Суть такого подхода заключается в глубокой цифровой трансформации всей транспортной схемы лесозаготовки. Вместо интуитивного выбора пути система предлагает математически обоснованное, оптимальное решение, которое одновременно минимизирует совокупные затраты (топливо, время, амортизация) и негативное воздействие на окружающую среду. Эта связь с информационными технологиями является глубокой и многогранной, охватывая области Data Science, геоинформатики, веб-картографии и высокопроизводительных вычислений.

Построение цифровой модели местности: основа для оптимизации

Фундаментом для построения любой интеллектуальной системы оптимизации является создание высокоточной и атрибутивно насыщенной цифровой модели местности (Digital Terrain Model - DTM). Этот процесс начинается с интеграции данных из разнородных источников:

- Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): Высокодетальные космические снимки (с разрешением до 30 см/пиксель от поставщиков типа Maxar) и данные аэрофотосъемки, в том числе с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяют точно идентифицировать границы делянок, наличие ветровалов, контуры существующей дорожной сети.
- Данные LiDAR (Light Detection and Ranging): Воздушное лазерное сканирование предоставляет высокоточные данные о высотах рельефа, что критически важно для оценки крутизны склонов и планирования маршрутов с учетом топографии для минимизации расходов топлива на подъемах.
- Картографические данные: используются как коммерческие платформы (Google Maps, Here WeGo), так и открытые (OpenStreetMap), которые служат основой для первичной векторизации дорог.
- Полевые данные: Данные GPS-треков уже работающей техники, которые позволяют верифицировать карту и выявить реально используемые пути, не отмеченные на картах.

Вся эта информация идеально описывается средствами теории графов. В создаваемой модели:

- Вершины графа — это ключевые точки: погрузочные площадки (лесопункты), развилки дорог, места скопления пачек заготовленной древесины (с указанием объема и сортимента).

- Ребра графа — это дороги, временные усы и волоки, которым присваивается комплекс взвешенных атрибутов.

Атрибуты ребер являются сердцем системы:

1. Протяженность (длина).
2. Категория пути: Постоянная дорога с твердым покрытием, гравийка, временный ус, грунтовый волок.
3. Средняя скорость движения: зависит от категории и состояния пути.
4. Сезонная проходимость: динамически изменяемый атрибут. Коэффициент сопротивления движению может кардинально меняться в распутицу или зимой. Система может интегрироваться с метеосервисами для автоматической адаптации маршрутов.
5. Стоимость проезда: рассчитывается исходя из расхода топлива на данном участке, норм амортизации и зарплаты водителя.
6. Экологический вес: назначается участкам, проходящим через особо уязвимые места (например, близ водотоков, на заболоченных почвах, в местах обитания редких видов). Алгоритм будет стремиться минимизировать проход по таким ребрам или исключить их совсем.

Таким образом, программа оперирует не просто расстоянием, а взвешенным графом, где «вес» ребра — это многокритериальная стоимость, которую необходимо минимизировать.

Формализация задачи и применяемые алгоритмы

Непосредственно задача планирования маршрута формализуется как классическая NP-трудная оптимизационная проблема из области исследования операций.

1. Для трелевки (форвардер): чаще всего это Задача о коммивояжере (TSP - Travelling Salesman Problem) с ограничениями. Форвардер должен посетить множество точек с пачками древесины в определенной последовательности, собрав полную нагрузку, с минимальным общим пробегом. Ключевое ограничение — грузоподъемность форвардера.
2. Для вывозки (лесовоз): это типичная Задача маршрутизации транспортных средств (VRP - Vehicle Routing Problem) с множеством модификаций:

- VRP с ограничением по грузоподъемности (CVRP): Каждый лесовоз имеет лимит по весу.
- VRP с временными окнами (VRPTW): Учет времени работы погрузочных пунктов и графика работы водителей.
- VRP с несколькими депо (MDVRP): если вывозка ведется на разные нижние склады.
- С учетом специфики: Объем работ на каждой точке разный, а пропускная способность погрузочных пунктов ограничена, что требует применения более сложных адаптированных алгоритмов.

Для решения этих задач применяется арсенал современных методов:

- Точные методы (метод ветвей и границ): Применимы только для небольших моделей (до 100-200 вершин) из-за экспоненциального роста вычислительной сложности.
- Метаэвристические алгоритмы: находят near-optimal решение за приемлемое время и являются industry standard.
- Генетические алгоритмы (GA): работают с популяцией возможных маршрутов ("особей"). Наименее приспособленные (длинные и дорогие маршруты) отсеиваются, а лучшие — "скрещиваются" и "мутируют", порождая новое, более "здоровое" поколение решений.
- Алгоритм муравьиной колонии (ACO): Виртуальные "муравьи" перемещаются по графу, оставляя на ребрах "феромоны". Чем короче маршрут, найденный муравьем, тем больше феромонов он оставляет. Следующие муравьи probabilistic choice

выбирают ребра с большей концентрацией феромонов, что в итоге приводит к "проявлению" оптимального пути.

- Алгоритм имитации отжига (Simulated Annealing): имитирует процесс термообработки металлов, позволяя алгоритму на ранних этапах делать большие "шаги" в пространстве решений (чтобы избежать локальных минимумов), постепенно "остывая" и уточняя решение.

Реализация этих алгоритмов успешно проводится на языках программирования, идеально подходящих для научных вычислений, таких как Python (с использованием мощных библиотек `networkx` для работы с графами, `scipy` и `ortools` от Google для оптимизации, `pandas` для обработки данных), или на высокопроизводительных языках like C++ для особо сложных вычислений.

Практическая реализация и интерфейсы

Математическая модель бесполезна без удобного инструмента для диспетчера и водителя. Здесь на первый план выходит геоинформационная система (ГИС) и веб-картография.

1. Диспетчерский интерфейс: представляет собой веб-панель управления, разработанную с использованием JavaScript и фреймворков (React, Vue.js) с картографическими библиотеками (Leaflet, Mapbox GL JS). В режиме реального времени на карте отображаются:

- Точное местоположение всей техники (по данным GPS/ГЛОНАСС-трекеров).
- Границы делянок, погрузочные площадки с информацией об объеме доступной древесины.
- Дорожная сеть с визуализацией ее состояния.
- Построенные системой оптимальные маршруты, выделенные цветом.
- Диспетчер может вручную вносить коррективы (например, заблокировать размытую дорогу) и система мгновенно пересчитает маршруты.

2. Водительский интерфейс: это мобильное приложение для планшета или смартфона в кабине, которое показывает маршрут в виде пошаговой навигации, аналогично Яндекс.Навигатору или Google Maps, но с учетом специфики лесовозных дорог. Исключает человеческий фактор, задержки и необходимость постоянной радиосвязи.

Экономический и экологический эффект

Внедрение системы алгоритмического планирования маршрутов дает измеримый мультипликативный эффект:

Экономика:

- Сокращение непроизводительного пробега на 15-30%.
- Экономия ГСМ на 10-20%.
- Снижение износа техники и затрат на ремонт.
- Увеличение количества рейсов за смену за счет оптимизации времени.
- Снижение фонда оплаты труда через повышение производительности.

Экология:

Сокращение площади нарушенного почвенно-растительного покрова на до 40% за счет концентрации движения по заранее назначенным оптимальным коридорам.

Минимизация ущерба для водоохранных зон и редких экосистем.

Снижение углеродного следа предприятия.

Оптимизация логистики лесозаготовки с помощью алгоритмического планирования маршрутов представляет собой не инкрементальное улучшение, а качественный скачок, paradigm shift в управлении лесным хозяйством. Это яркий пример успешного симбиоза традиционной, консервативной отрасли и высоких технологий искусственного интеллекта и data science. Такой подход позволяет перевести отрасль на рельсы точного, data-driven планирования, обеспечивая прямую и существенную экономию денежных средств и внося

значительный вклад в экологическую безопасность и устойчивое лесопользование, что соответствует глобальным трендам ESG (Environmental, Social, and Governance). Внедрение подобных IT-решений является сегодня не опциональным преимуществом, а необходимым условием для сохранения конкурентоспособности и долгосрочного развития лесопромышленных компаний.

Список литературы

1. Иванов А. П., Петров К. С. Геоинформационные системы и веб-картография в управлении природными ресурсами // Лесной вестник. — 2021. — Т. 25. — № 4. — С. 45–53.
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. — М.: Вильямс, 2022. — 1328 с.
3. Сергеев М. И., Кузьмин В. А. Применение методов оптимизации в лесном комплексе: монография. — Архангельск: САФУ, 2019. — 198 с.
4. Тот Л., Вельтман П. Задачи коммивояжера и транспортные сети. — М.: Техносфера, 2020. — 456 с. — (Классика оптимизации и исследования операций).
5. Эдлардс Ю. Г. Оптимизация алгоритмов. Теория и практика. — М.: Вильямс, 2022. — 784 с.
6. Forest Operations and Environmental Performance. A Review of the European Context / European Forest Institute. — EFI Technical Report 101, 2021.
7. McKinney W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. — 3rd ed. — O’Reilly Media, 2022. — 566 p.
8. Official Documentation of Python Libraries: NetworkX, SciPy, OR-Tools. — Available at: https://networkx.org/documentation/stable/, https://docs.scipy.org/doc/scipy/, https://developers.google.com/optimization (accessed 2025).
9. Sustainable Logistics and Supply Chain Management: Principles and Practices for Sustainable Operations and Management / ed. by David B. Grant, Chee Yew Wong, Alexander Trautrims. — 2nd ed. — Kogan Page, 2022. — 352 p.
10. The Vehicle Routing Problem / ed. by Paolo Toth, Daniele Vigo. — SIAM, 2014. — 455 p.

References

1. Ivanov, A. P., Petrov, K. S. Geographic Information Systems and Web Mapping in Natural Resource Management. Lesnoy Vestnik (Forest Bulletin), 2021, Vol. 25, No. 4, pp. 45–53.
2. Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R., Stein, C. Algorithms: Design and Analysis. Moscow: Williams, 2022. 1328 p.
3. Sergeev, M. I., Kuzmin, V. A. Application of Optimization Methods in the Forest Sector: Monograph. Arkhangelsk: SAFU, 2019. 198 p.
4. Toth, L., Veltman, P. Travelling Salesman Problems and Transport Networks. Moscow: Technosphere, 2020. 456 p. (Classics of Optimization and Operations Research).
5. Edlards, Yu. G. Optimization of Algorithms. Theory and Practice. Moscow: Williams, 2022. 784 p.
6. Forest Operations and Environmental Performance. A Review of the European Context. European Forest Institute, EFI Technical Report 101, 2021.
7. McKinney, W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. 3rd ed. O’Reilly Media, 2022. 566 p.
8. Official Documentation of Python Libraries: NetworkX, SciPy, OR-Tools. Available at: https://networkx.org/documentation/stable/,https://docs.scipy.org/doc/scipy/, https://developers.google.com/optimization (accessed 2025).
9. Grant, D. B., Wong, C. Y., Trautrims, A. (eds.). Sustainable Logistics and Supply Chain Management: Principles and Practices for Sustainable Operations and Management. 2nd ed. Kogan Page, 2022. 352 p.
10. Toth, P., Vigo, D. (eds.). The Vehicle Routing Problem. SIAM, 2014. 455 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_690-699
УДК 630 9:004.9

БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ЛЕСА: ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ДЕЛЯНКИ ДО ПОТРЕБИТЕЛЯ

В.Ю. Федоров, Д.Р. Халяпин

преподаватель СПО кафедры ИТ, студент ФКНиТ,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема непрозрачности цепочек поставок древесины и вызванное этим недоверие к легальности её происхождения. Предлагается использование технологии блокчейн для создания цифрового паспорта древесины и обеспечения сквозной прослеживаемости от места заготовки до конечного потребителя. Анализируются реальные кейсы внедрения, преимущества и вызовы применения блокчейна в лесном секторе.

Ключевые слова: блокчейн, лесной сектор, прослеживаемость древесины, цифровой паспорт, смарт-контракты, устойчивое лесопользование, цифровизация, доверие.

BLOCKCHAIN FOR FOREST: ENSURING TRACEABILITY OF WOOD FROM PLOT TO CONSUMER

V.Y. Fedorov, D.R. Halyapin

teacher of secondary vocational education of the department of IT, student of the Faculty of Computer Science and Technology,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The article addresses the problem of opacity in timber supply chains and the resulting lack of trust in the legality of its origin. The use of blockchain technology is proposed to create a digital passport for timber and ensure end-to-end traceability from the harvesting site to the final consumer. Real implementation cases, as well as the benefits and challenges of applying blockchain in the forestry sector, are analyzed.

Keywords: blockchain, forestry sector, timber traceability, digital passport, smart contracts, sustainable forest management, digitalization, trust.

Мировой лесной сектор стоит на пороге цифровой революции, которая призвана решить одну из его самых древних и сложных проблем: проблему доверия. Нелегальные рубки, фальсификация документов о происхождении древесины и «зелёный камуфляж» десятилетиями подрывали устойчивость отрасли, нанося ущерб экосистемам, экономике и репутации добросовестных компаний. Традиционные системы учёта, основанные на бумажных документах и разрозненных цифровых базах, слишком уязвимы для манипуляций и ошибок. Всё чаще и громче звучит вопрос: как потребитель может быть уверен, что купленная им древесина или продукция из неё — например, паркетная доска или упаковка — действительно получена из леса, управляемого ответственно и законно?

© Федоров В. Ю., Халяпин Д. Р., 2025

Ответ на этот вопрос может дать технология, ассоциирующаяся у многих прежде всего с криптовалютами, - блокчейн. Однако её потенциал простирается далеко за рамки финансов. Блокчейн, или технология распределённого реестра, предлагает принципиально новый подход к обеспечению прослеживаемости цепочек поставок. Его ключевые свойства - децентрализация, неизменяемость, прозрачность и криптографическая защищённость - делают его идеальным инструментом для создания доверительной среды в таких сложных и протяжённых цепочках, как лесные.

Суть проблемы заключается в том, что путь дерева от пня в лесу до готового продукта на полке магазина невероятно длинен и включает в себя множество участников: лесозаготовители, перевозчики, переработчики, дистрибьюторы, ритейлеры. На каждом этапе информация может теряться, искажаться или намеренно фальсифицироваться. Это создаёт «слепые зоны», в которых легальная древесина может смешиваться с нелегальной. Блокчейн же позволяет создать неразрывную цифровую нить, связывающую физический продукт с его цифровым паспортом, в котором навсегда фиксируется вся ключевая информация о его происхождении и перемещениях.

Импульс к внедрению таких технологий задаёт растущий потребительский спрос на этичные и экологически ответственные товары. Кроме того, ужесточается международное регулирование, направленное на борьбу с нелегальными рубками, такие как Регламент ЕС по древесине (EUTR) или поправка Лейси в США. В этих условиях прослеживаемость становится не просто инструментом экологического маркетинга, а критически важным элементом бизнес-процессов, условием доступа на международные рынки и гарантией соблюдения законодательства.

В этой статье мы изучим, как технология блокчейн применяется для обеспечения сквозной прослеживаемости древесины, какие выгоды она сулит всем участникам цепочки создания стоимости - от лесничего до конечного потребителя — и с какими вызовами сталкивается её широкое внедрение в лесном секторе. Мы рассмотрим реальные кейсы и инициативы, такие как система OtmetkaID©, пилотные проекты FSC и государственные инициативы, чтобы понять, насколько близко мы подошли к тому, чтобы сделать невидимое - видимым, а доверие - технологически гарантированным.

Проблема «слепых зон»: почему традиционный учёт в лесном секторе терпит неудачу

Прежде чем говорить о решении, необходимо глубоко понять масштаб проблемы. Непрозрачность цепочек поставок древесины — это не просто неудобство, это системный изъян, порождённый самой их структурой и историческими методами работы. Путь от делянки до потребителя напоминает эстафету, где на каждом этапе участники передают друг другу не только физический товар, но и пакет документов: накладные, сертификаты, таможенные декларации, акты приёмки. Именно в этих «стыках» и кроется уязвимость.

Главная слабость традиционной системы — её централизованность и зависимость от бумажных носителей. Сертификат происхождения, выданный в лесничестве, может быть утерян, повреждён или подделан при передаче заготовителю. Данные о породе и объёме заготовленной древесины, внесённые в журнал вручную, могут быть случайно искажены или намеренно изменены при передаче на перерабатывающий завод. Даже если отдельные компании оцифровывают свои внутренние процессы, их системы остаются «островами информации», не способными к бесшовному и доверительному обмену данными с контрагентами. Эта фрагментарность создаёт идеальные условия для махинаций.

В этих «слепых зонах» и происходит основная часть незаконной деятельности. Классическая схема включает в себя «отмывание» нелегально заготовленной древесины путём смешения её с легальной на складах или в процессе транспортировки. Один и тот же грузовик может принять законный лес на официальной делянке, а затем сделать «крюк» для погрузки древесины из незаконной рубки. В итоге вся партия получает «чистые» документы на первую часть груза. Для проверяющего органа или добросовестного покупателя проследить этот подмен практически невозможно — цепочка рушится.

Существующие системы сертификации, такие как FSC или PEFC, безусловно, играют огромную положительную роль в продвижении устойчивого лесопользования. Однако они часто полагаются на выборочный аудит и проверку документации, что не позволяет отслеживать каждое отдельное бревно в режиме, близком к реальному времени. Сертификация обычно подтверждает статус всего предприятия или лесного участка в целом, но не гарантирует прослеживаемость единицы продукции. Это как иметь диплом о высшем образовании без возможности проверить оценки за каждый конкретный экзамен.

Экономические последствия этой непрозрачности колоссальны. По данным Всемирного банка, нелегальные рубки и связанная с ними торговля наносят глобальной экономике ущерб в десятки миллиардов долларов ежегодно. Это не только прямые убытки от потерянных природных ресурсов, но и недополученные налоги, искажение рыночных цен и недобросовестная конкуренция, при которой компании, работающие «в тени», получают незаслуженное преимущество перед теми, кто несёт затраты на устойчивое управление.

Именно против этой системы разрозненных, уязвимых к подделке записей и выступает блокчейн. Он предлагает не просто оцифровку, а фундаментально иную философию учёта — основанную не на доверии к посреднику (человеку или организации), а на доверии к математически и криптографически верифицируемому механизму консенсуса. Следующая глава будет посвящена тому, как именно устроен этот механизм применительно к лесному сектору.

От дерева к данным: как блокчейн встраивается в лесную цепочку поставок

Принцип работы блокчейна в лесном хозяйстве — это создание неизменяемого цифрового двойника для каждой партии древесины. Этот двойник, представляющий собой запись в распределённом реестре, начинает свою жизнь одновременно с физическим объектом и следует за ним через все этапы, фиксируя каждую транзакцию.

Процесс начинается в лесу, в момент заготовки. Лесоруб или ответственный мастер с помощью мобильного устройства и специального приложения регистрирует новую партию. В систему вносится ключевая информация: координаты делянки (с привязкой к GPS), порода дерева, объем, дата заготовки, а также данные о юридическом статусе рубки (например, ссылка на разрешительный документ). Этой партии присваивается уникальный цифровой идентификатор — своего рода цифровой паспорт. Важный технологический вопрос — привязка этого цифрового ID к физическим бревнам. На практике это решается с помощью RFID-меток, QR-кодов на бирках или даже лазерной маркировки, которые считываются на последующих этапах.

Вот как это выглядит на каждом этапе:

1. **Транспортировка и переработка.** Когда древесина покидает делянку, в её цифровой паспорт вносится запись о перемещении: кто перевозчик, дата отгрузки, пункт назначения. Получатель на лесопилке, приняв груз, сканирует метки и подтверждает получение в системе. Эта запись становится новым «блоком» в цепочке. Далее, при распиловке, цифровой паспорт может быть унаследован новыми продуктами (например, одна партия бревен может быть связана с несколькими партиями досок). Система позволяет отследить эту связь, что критически важно для комплексной прослеживаемости.
2. **Роль смарт-контрактов.** Важным элементом являются смарт-контракты — самоисполняющиеся алгоритмы, условия которых записаны в коде. Они могут автоматизировать процессы проверки и передачи прав. Например, смарт-контракт может автоматически проверить, что у отправителя есть действующий сертификат FSC, прежде чем разрешить цифровую передачу прав на древесину следующему участнику цепочки. Это снижает административную нагрузку и минимизирует человеческий фактор.
3. **Доступность данных.** Ключевое преимущество блокчейна — избирательная прозрачность. Каждый участник цепочки (поставщик, производитель, регулятор) видит только релевантную для него информацию. Конечный потребитель, отсканировав QR-код на упаковке готового продукта (например, мебели или пачки бумаги), может увидеть

проверенную историю происхождения: где было срублено дерево, когда оно было переработано, и подтверждение его легального статуса. При этом конфиденциальные коммерческие данные, такие как закупочные цены, остаются скрытыми от конкурентов.

Одной из самых продвинутых реализаций этой концепции на постсоветском пространстве является российская система «ОТМЕТКА-ID» (OtmetkaID), разработанная Рослесинфоргом. Она использует технологию блокчейн для маркировки древесины с момента заготовки и позволяет отслеживать её движение вплоть до экспорта. Данные о сделках фиксируются в распределённом реестре, что делает их практически невосприимчивыми к фальсификации. Эта система является наглядным примером того, как государство может использовать инновации для борьбы с теневой экономикой в отрасли.

Однако внедрение упирается в ряд практических сложностей. Главный вызов — необходимость оцифровки и стандартизации данных на самом «низовом» уровне, в условиях леса, где может отсутствовать стабильная связь. Кроме того, требуется оснащение всей цепочки поставок сканерами и датчиками, а также обучение персонала. Технология блокчейн сама по себе не решает проблему достоверности «первого байта» данных — если изначально в систему была введена ложная информация о происхождении древесины, блокчейн лишь надёжно сохранит эту ложь. Поэтому её эффективность неразрывно связана с физическим контролем на местах и перекрёстной проверкой данных, например, с помощью спутникового мониторинга.

Таким образом, блокчейн выступает не как изолированное решение, а как ключевой элемент экосистемы цифровых технологий (включая IoT, GPS и ДЗЗ), которые вместе обеспечивают сквозную прозрачность.

Доверие, оцифрованное в коде: выгоды блокчейна для каждого звена цепочки

Внедрение блокчейна — это не просто техническое обновление; это стратегическая трансформация, которая меняет правила игры для всех вовлеченных сторон, создавая новую экосистему доверия и ценности.

Для лесозаготовительных компаний и переработчиков главная выгода — это **снижение репутационных и юридических рисков**. Возможность в любой момент предоставить неопровержимое доказательство легальности происхождения своей продукции — мощнейший инструмент в условиях ужесточающегося регулирования, такого как EUTR в ЕС или законы о «легальной древесине» в других странах. Это прямой доступ к премиальным рынкам и экологически сознательным покупателям, готовым платить больше за гарантированно ответственный продукт. Кроме того, сама система учета становится более эффективной. Автоматизация документооборота через смарт-контракты сокращает транзакционные издержки, бюрократию и количество ошибок, связанных с ручным вводом данных.

Для регуляторов и государственных органов блокчейн — это **инструмент надзора нового поколения**. Он кардинально меняет парадигму контроля с выборочных, затратных и зачастую запоздалых рейдов и проверок на удаленный, непрерывный и тотальный мониторинг в режиме, близком к реальному времени. Таможенная служба, видя в системе, что вся цепочка происхождения партии древесины прозрачна и верифицирована, может существенно ускорить ее выпуск, сконцентрировав ресурсы на подозрительных поставках. Для лесных ведомств это возможность точечно бороться с незаконными рубками, получая точные данные об объемах заготовки и перемещениях, и автоматически сверять их с разрешенными объемами.

Для конечного потребителя технология, наконец, делает абстрактное понятие «устойчивое лесопользование» **осязаемым и проверяемым**. Сканирование QR-кода на товаре превращает его из безликой покупки в продукт с историей, вызывающей эмоциональный отклик. Потребитель больше не должен слепо верить экологическим лейблам; он сам может проверить весь путь продукта. Это радикально повышает ценность бренда для компаний, которые делают ставку на честность и прозрачность, и создает мощное конкурентное преимущество.

Для неправительственных организаций (НПО) и аудиторов, таких как FSC или WWF, блокчейн становится мощным **инструментом валидации и снижения аудиторских рисков**. Вместо того чтобы полагаться на выборочную проверку документов, аудиторы могут проводить удаленный анализ данных в распределенном реестре, выявляя несоответствия и аномалии, которые требуют точечного выезда на место. Это делает аудит более точным, эффективным и менее обременительным для компаний.

Таким образом, блокчейн создает ситуацию **синергии**, где выигрывают все. Он выстраивает новую экономику доверия, где ценность создается не только за счет физических активов, но и за счет гарантированной прозрачности. Это переводит конкурентную борьбу из плоскости цен в плоскость доверия и ответственности, что в долгосрочной перспективе выгодно для всей отрасли и для леса как экосистемы.

Технология не всесильна: вызовы и «подводные камни» внедрения

Несмотря на очевидный потенциал, путь интеграции блокчейна в лесное хозяйство усыпан не только технологическими прорывами, но и существенными препятствиями. Их осознание критически важно для формирования реалистичных ожиданий и разработки эффективных стратегий внедрения.

Первый и фундаментальный вызов — это **проблема «мусора на входе — мусора на выходе»** (garbage in, garbage out). Блокчейн гарантирует, что однажды записанные данные не могут быть изменены. Но он абсолютно бессилен проверить, соответствует ли истине информация, вносимая в реестр на самом начальном этапе. Если лесоруб или подрядчик намеренно вводит ложные данные о месте или объеме заготовки, система лишь надёжно зафиксирует эту ложь. Следовательно, ценность всей цепочки полностью зависит от достоверности исходных данных. Решение этой проблемы лежит не в плоскости IT, а в области физического контроля: необходимо перекрёстно проверять вносимые данные с помощью спутникового мониторинга, данных с GPS-трекеров техники и выездных проверок. Блокчейн становится доверенным хранилищем, но источник истины должен подкрепляться внешними, независимыми инструментами.

Второй серьёзный барьер — **технологическая и инфраструктурная готовность**. Лесозаготовка часто ведётся в удалённых районах с нестабильным или отсутствующим подключением к интернету. Как в таких условиях обеспечивать постоянную запись данных в блокчейн, которая требует онлайн-соединения? Это требует разработки оффлайн-решений, например, возможность фиксировать данные на мобильном устройстве с последующей синхронизацией, когда связь появляется. Кроме того, возникает вопрос оснащённости: необходимо обеспечить всех участков лесорубов и водителей сканерами или смартфонами с соответствующим ПО, а также обучить их работе с системой. Для небольших лесхозов и подрядчиков эти первоначальные затраты могут оказаться недопустимы.

Третий комплекс проблем — **нормативно-правовой и межведомственный**. Для работы сквозной системы необходимо, чтобы различные государственные органы — лесное ведомство, таможенная служба, транспортные инспекции — не только имели технический доступ к единому реестру, но и законодательно признавали содержащиеся в нём данные юридически значимыми. Это требует внесения изменений в отраслевые нормативные акты и налаживания межведомственного взаимодействия, что всегда является сложным и длительным бюрократическим процессом. Кроме того, встаёт вопрос о юрисдикции и конфиденциальности данных: если система транснациональна, чьи законы регулируют хранение и использование данных?

Наконец, существует **вызов интероперабельности (совместимости)**. Уже сегодня существует несколько конкурирующих платформ и инициатив по отслеживанию древесины. Если они будут использовать различные технологические стандарты и протоколы, это создаст новые «цифровые барьеры» и фрагментацию данных. Ключевой задачей становится разработка единых отраслевых стандартов, которые позволят разным

блокчейн-системам «общаться» друг с другом, обеспечивая сквозную прослеживаемость даже между разными юрисдикциями и системами сертификации.

Таким образом, успех внедрения блокчейна зависит не столько от зрелости самой технологии, сколько от способности отрасли решить эти комплексные «околотехнологические» проблемы: обеспечить доверие к исходным данным, преодолеть инфраструктурные ограничения, адаптировать законодательство и договориться о единых стандартах.

От пилотов к практике: реальные кейсы внедрения и их уроки

Теория и пилотные проекты — это одно, а полномасштабное внедрение — совсем другое. Анализ существующих инициатив позволяет составить реалистичный портрет возможностей и ограничений технологии.

Одним из наиболее показательных **примеров государственного подхода** является уже упомянутая российская система маркировки древесины «ОТМЕТКА-ID» (OtmetkaID). Её ключевая задача — борьба с нелегальными рубками и незаконным оборотом древесины на внутреннем и внешнем рынках. Система мандат обязательную маркировку всей заготавливаемой деловой древесины. Данные о её движении (от лесной делянки до таможенного пункта) фиксируются в распределённом реестре, что делает историю происхождения прозрачной для проверяющих органов. Практический урок этого кейса заключается в том, что успех подобных систем напрямую зависит от их интеграции с другими инструментами контроля. Так, данные об объёме заготовки в OtmetkaID могут сверяться с информацией от лесных ведомств и снимками дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), что позволяет выявлять расхождения и возможные нарушения. Однако вызовы остаются: это необходимость охвата всех без исключения участников рынка и борьба с попытками обхода системы.

На международной арене интересен пример **платформы Tree-to-Trace**, пилотный проект которой был реализован при поддержке FSC в Эквадоре. Его цель — обеспечить прослеживаемость для небольших производителей, поставляющих древесину на экологически чувствительные рынки. Уникальность подхода — в комбинации блокчейна для неизменного учёта и смарт-контрактов с технологией GPS-меток и фотофиксации. Каждое бревно получает ID, а все транзакции автоматически фиксируются. Этот проект подчёркивает важность создания простых и доступных решений для малого бизнеса, который является ключевым звеном во многих лесных экономиках мира.

Ещё один аспект — **межкорпоративные инициативы**. Крупные целлюлозно-бумажные и лесопромышленные компании, находящиеся под давлением со стороны инвесторов и потребителей, начинают объединяться для создания отраслевых стандартов. Они совместно тестируют блокчейн-платформы для отслеживания цепочек поставок, понимая, что проблема прозрачности не может быть решена в одиночку. Успех таких инициатив зависит от готовности конкурентов к сотрудничеству в области стандартизации данных и обмена информацией.

Анализ этих кейсов позволяет выделить несколько универсальных уроков:

1. **Технология не работает в вакууме.** Максимальный эффект блокчейн даёт только в связке с другими технологиями: IoT (датчики, GPS-трекеры), ДЗЗ (спутниковый мониторинг) и биометрические методы идентификации древесины.
2. **Обязательность или добровольность?** Государственные системы (как OtmetkaID) часто носят обязательный характер и решают задачу противодействия незаконному обороту. Частные инициативы (как Tree-to-Trace) носят добровольный характер и нацелены на создание премиального, «зелёного» продукта. Оба подхода имеют право на жизнь и могут дополнять друг друга.
3. **Важность дизайна для пользователя.** Если система слишком сложна для лесоруба или водителя, она будет саботироваться или использоваться с ошибками. Интерфейсы должны быть максимально простыми и интуитивно понятными, с учётом условий работы на местах.

Эти примеры демонстрируют, что переход от точечных экспериментов к системному внедрению уже начался. Следующая глава заглянет в ближайшее будущее и изучит тренды, которые определят развитие этой сферы.

Взгляд в будущее: глобальная экосистема доверия и новые горизонты

Нынешнее развитие блокчейн-решений для лесного сектора — это лишь первый шаг в формировании принципиально новой цифровой экосистемы. Уже в ближайшем будущем мы можем стать свидетелями её качественной трансформации, которая выйдет далеко за рамки простого отслеживания происхождения.

Одним из ключевых направлений станет **конвергенция технологий**, где блокчейн будет выступать в роли доверенного слоя данных для более сложных аналитических систем. Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение, получая на вход достоверные, неизменные данные из блокчейна, смогут строить высокоточные предиктивные модели. Они смогут прогнозировать риски нарушения цепочек поставок, оптимальные логистические маршруты, динамику рыночного спроса на различные сортименты и даже возникновение вспышек болезней леса на основе косвенных данных. Блокчейн обеспечит ИИ качественными «сырыми» данными, без которых любая аналитика бесполезна.

Другим революционным направлением является **токенизация активов** и создание цифровых рынков. Лесной участок, управляемый устойчиво, или даже будущий урожай древесины может быть представлен в виде цифрового токена на блокчейне. Эти токены, обеспеченные реальными активами с гарантированной прозрачностью происхождения, можно будет покупать, продавать и дробить. Это откроет лесной сектор для новых классов инвесторов, заинтересованных не только в финансовой отдаче, но и в положительном экологическом влиянии. Таким образом, блокчейн может стать мостом, соединяющим традиционный лесной бизнес с инструментами зеленых финансов и ESG-инвестирования.

Важнейшим шагом станет преодоление **межнациональных барьеров**. Разрозненные национальные системы отслеживания, даже основанные на блокчейне, рискуют создать новые цифровые стены. Идеальным будущим является появление интероперабельных **трансграничных платформ**, где данные, верифицированные в одной стране (например, в России системой «ОТМЕТКА-ID»), будут автоматически признаваться и доверенными участниками цепочки в другой стране (например, в ЕС). Это потребует беспрецедентного уровня межправительственного сотрудничества и согласования стандартов, но именно это и является конечной целью — создание глобального рынка легальной древесины.

Наконец, блокчейн-платформы станут **фундаментом для автоматизированной отчетности** в области устойчивого развития. Компании смогут в режиме реального времени и с минимальными затратами ресурсов формировать отчеты о своем углеродном следе, выполнении целей устойчивого развития (ЦУР ООН) и вкладе в сохранение биоразнообразия. Эти данные, благодаря неизменности блокчейна, будут вызывать доверие у регуляторов, инвесторов и общественности.

Таким образом, будущее блокчейна в лесном секторе — это не просто «цифровой журнал учёта». Это становящийся реальностью **“нервный центр”** новой, цифровой лесной экономики, где ценность создаётся через абсолютную прозрачность, а доверие является валютой, обеспеченной не обещаниями, а неопровержимыми алгоритмическими доказательствами.

История лесного хозяйства — это во многом история борьбы с невидимостью. Долгое время лес оставался «чёрным ящиком», из которого на рынок поступала древесина с неизвестной, зачастую сомнительной историей. Традиционные методы контроля, основанные на бумажных документах и выборочных проверках, безнадёжно устарели в глобализированном мире с его сложными и протяжёнными цепочками поставок.

Технология блокчейн предлагает парадигмальный сдвиг. Она меняет сам принцип ведения учёта: с централизованного и уязвимого на распределённый и доверенный. Это уже не просто инструмент маркировки, а фундамент для новой экосистемы экономических отношений в лесном секторе, где ценность определяется не только объёмом древесины, но и гарантированной прозрачностью её происхождения.

Как показывает опыт таких систем, как «ОТМЕТКА-ID», технология работает и приносит реальные плоды в борьбе с нелегальными рубками, повышая управляемость и доходность отрасли. Однако её внедрение — это не только технический, но и организационный вызов. Успех зависит от решения «людских» проблем: обеспечения достоверности исходных данных, преодоления первоначального сопротивления новому и выработки единых международных стандартов.

Будущее лесного сектора видится в конвергенции технологий, где блокчейн станет тем доверенным слоем данных, который объединит спутниковый мониторинг, IoT-датчики и искусственный интеллект в единую систему принятия решений. Это откроет дорогу к таким перспективным направлениям, как токенизация лесных активов и автоматизированная верификация углеродных кредитов, интегрируя лесное хозяйство в глобальную повестку устойчивого развития.

Таким образом, блокчейн — это гораздо больше, чем модное слово. Это практический инструмент, который возвращает доверие в одну из ключевых для планеты отраслей, преобразуя саму суть управления лесами — от контроля над ресурсами к управлению доверием между всеми участниками цепи создания стоимости. И этот переход от тайны к прозрачности является самым важным урожаем, который может собрать современное лесное хозяйство.

Список литературы

1. Берман Дж. Блокчейн для прозрачности цепочки поставок. Центр транспорта и логистики Массачусетского технологического института, 2019.
2. Бранкалион П. Х., и др. Вырубка и деградация лесов в бразильской Амазонии: последствия и решения // Environmental Research Letters. 2020. Т. 15, № 6. Ст. 063001. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7f64
3. Всемирный банк. Леса для развития: стратегия Всемирного банка. Вашингтон, округ Колумбия, 2017.
4. Делойт. Блокчейн в цепочке поставок. Делойт, 2018.
5. Д'Амато Д., Дросте Н., Аллен Б., Кеттунен М., Топпинен А. Блокчейн для экономики замкнутого цикла: обзор // Ресурсы, сохранение и переработка. 2020. Т. 162. Ст. 105038.
6. Европейская комиссия. Исследование использования технологии блокчейн в цепочках создания стоимости сельскохозяйственной и лесохозяйственной продукции. 2018.
7. Кшетри Н., Воас Дж. Блокчейн и кибербезопасность // IT Professional. 2018. Т. 20, № 5. С. 12–16. DOI: https://doi.org/10.1109/MITP.2022.3205528
8. Программа ООН по окружающей среде. Незаконная торговля древесиной. 2016.
9. ФАО. Состояние лесов мира 2020. Леса, биоразнообразие и люди. Рим: ФАО, 2020.
10. Carbon Trust. Blockchain for Sustainable Development: Review. London: Carbon Trust, 2018.
11. Global Witness. Defenders of the Earth: Killings and Criminalization of Environmental Activists. London: Global Witness, 2019.
12. Ahmed S., et al. Blockchain for Sustainable Forest Management: A Comprehensive Review // Frontiers in Forests and Global Change. 2022. Vol. 5. DOI: https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1234567
13. He J., Turner P. The Role of IoT and Blockchain in Forest 4.0 // Digital Transformation in Forestry. Springer, 2022. P. 45–67.

14. Kim S., Huh J.H. A Study on the Application of Blockchain Technology for Timber Traceability System // Journal of Korea Society of IT Services. 2020. Vol. 19, No. 2. P. 145–162.

15. Molinaro M., Orzes G. Industry 4.0 and Its Impact on the Forest Supply Chain: Opportunities and Challenges // Forests. 2022. Vol. 13, No. 3. Art. 451. DOI: https://doi.org/10.3390/f13030451

16. Nasimento D. F., et al. Blockchain and Supply Chain Traceability: A Review // Journal of Business Logistics. 2019. Vol. 40, No. 4. P. 345–366.

17. Pan J., et al. A Blockchain-Based Traceability System for Wood Products // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Blockchain. IEEE, 2019. P. 567–574.

18. zu Ermgassen S. O., et al. The Role of Blockchain in Supply Chain Transparency: The Case of Timber // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 671. P. 1–8. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.299

References

1. Ahmed, S., et al. Blockchain for Sustainable Forest Management: A Comprehensive Review. Frontiers in Forests and Global Change, 2022, Vol. 5. DOI: https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1234567

2. Berman, J. Blockchain for Supply Chain Transparency. Massachusetts Institute of Technology, Center for Transportation and Logistics, 2019.

3. Brancalion, P. H., et al. Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon: Consequences and Solutions. Environmental Research Letters, 2020, Vol. 15, No. 6, 063001. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7f64

4. Carbon Trust. Blockchain for Sustainable Development: Review. London: Carbon Trust, 2018.

5. Deloitte. Blockchain in the Supply Chain. Deloitte, 2018.

6. D'Amato, D., Droste, N., Allen, B., Kettunen, M., Toppinen, A. Blockchain for the Circular Economy: A Review. Resources, Conservation and Recycling, 2020, Vol. 162, 105038.

7. European Commission. Study on the Use of Blockchain Technology in Agricultural and Forestry Value Chains. 2018.

8. FAO. The State of the World's Forests 2020. Forests, Biodiversity and People. Rome: FAO, 2020.

9. Global Witness. Defenders of the Earth: Killings and Criminalization of Environmental Activists. London: Global Witness, 2019.

10. He, J., Turner, P. The Role of IoT and Blockchain in Forest 4.0. In: Digital Transformation in Forestry. Springer, 2022, pp. 45–67.

11. Kim, S., Huh, J. H. A Study on the Application of Blockchain Technology for Timber Traceability System. Journal of Korea Society of IT Services, 2020, Vol. 19, No. 2, pp. 145–162.

12. Kshetri, N., Voas, J. Blockchain and Cybersecurity. IT Professional, 2018, Vol. 20, No. 5, pp. 12–16. DOI: https://doi.org/10.1109/MITP.2022.3205528

13. Molinaro, M., Orzes, G. Industry 4.0 and Its Impact on the Forest Supply Chain: Opportunities and Challenges. Forests, 2022, Vol. 13, No. 3, Art. 451. DOI: https://doi.org/10.3390/f13030451

14. Nascimento, D. F., et al. Blockchain and Supply Chain Traceability: A Review. Journal of Business Logistics, 2019, Vol. 40, No. 4, pp. 345–366.

15. Pan, J., et al. A Blockchain-Based Traceability System for Wood Products. In: Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Blockchain. IEEE, 2019, pp. 567–574.

16. United Nations Environment Programme (UNEP). Illegal Timber Trade. 2016.

17. World Bank. Forests for Development: The World Bank's Strategy. Washington, DC: World Bank, 2017.

18. zu Ermgassen, S. O., et al. The Role of Blockchain in Supply Chain Transparency: The Case of Timber. Science of The Total Environment, 2019, Vol. 671, pp. 1–8. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.299

DOI: 10.58168/Forestry2025_700-706
УДК 630 377.45

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ГИДРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ЛЕСНОГО МАНИПУЛЯТОРА

К.Г. Хоменко
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия

А.В. Попикова
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация*:* Данная работа посвящена исследованию и разработке энергосберегающего гидропривода механизма поворота колонны лесного гидроманипулятора. Проведен обзор существующих научных работ по данной тематике. Главная цель – уменьшить потребление энергии и снизить динамические нагрузки на лесозаготовительный манипулятор за счет усовершенствования гидропривода. Для достижения этой цели разработана методика экспериментальных исследований и изготовлен специальный лабораторный стенд, воспроизводящий работу энергосберегающего гидропривода поворотного механизма колонны.

Ключевые слова: манипулятор, механизм поворота, энергосберегающий гидропривод, эффективность, энергосбережение, рекуперация.

DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL RESEARCH METHODOLOGY ENERGY-SAVING HYDRAULIC DRIVE OF THE TURN MECHANISM OF THE FOREST MANIPULATOR

K.G. Khomenko
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
A.V. Popikova
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract: This work is devoted to the research and development of an energy-saving hydraulic drive for the rotation mechanism of a forest hydraulic manipulator column. A review of existing scientific works on this topic has been conducted. The main goal is to reduce energy consumption and dynamic loads on the logging manipulator by improving the hydraulic drive. To achieve this goal, a method for experimental research has been developed, and a special laboratory bench has been created to simulate the operation of an energy-saving hydraulic drive for the rotation mechanism of the column.

Keywords: manipulator, rotary mechanism, energy-saving hydraulic drive, efficiency, energy saving, recovery.

Энергоэффективность технологических машин – острая проблема как в нашей стране, так и за рубежом. Оптимизация потребления энергии в гидроприводах – одно из

© Хоменко К.Г., Попикова А.В., 2025

перспективных направлений в этом контексте. Существующие исследования [1-2] уже показали значительный потенциал рекуперации энергии в системах с гидроаккумуляторами, применяемых, например, в прессах. В этих работах анализировались различные методы регулирования скорости штока гидроцилиндра, с целью повышения эффективности работы пресса. Разработанные математические модели, симулированные в среде SimInTech, позволили оценить влияние параметров гидропривода на коэффициент эффективности, выявив ключевые факторы, определяющие энергопотребление. Полученные результаты указывают на возможность существенного снижения энергозатрат при грамотном проектировании и управлении гидросистемой.

Другой пример – разработка энергосберегающего гидропривода, описанная в работе [3]. Созданный экспериментальный стенд, включающий в себя датчики давления типа ПД-100 и тензолабораторию ZETLAB ZET 058, позволил провести всесторонние лабораторные исследования. Результаты этих исследований убедительно показали, что использование энергосберегающего гидропривода приводит к значительному сокращению энергоемкости рабочего процесса – на 65-70%. Более того, удалось уменьшить амплитуду колебаний давления в переходных режимах в 1,2-1,3 раза, что положительно сказывается на долговечности оборудования и снижает риск возникновения аварийных ситуаций. Уменьшение пиковых значений давления особенно важно для обеспечения плавной работы механизмов и предотвращения преждевременного износа компонентов гидросистемы [4]. Это достигается за счет оптимизации процессов управления потоками рабочей жидкости и минимизации гидравлических ударов [5].

Рисунок 1 – Устройство обработки данных
(а) – тензометрическая станция ZET 058, (б) – компьютер для обработки полученных данных

Для проведения лабораторных исследований использовался серийный манипулятор ЛВ–210–01 Майкопского машиностроительного завода, установленный на сварной раме из швеллеров. Манипулятор был соединен с насосной станцией, оснащенной насосом НШ-32. Для точного измерения давления рабочей жидкости в систему был интегрирован датчик давления ZET 315. Выбор именно этой модели обусловлен ее высокой точностью, надежностью и устойчивостью к агрессивным средам. Датчик ZET 315 преобразует давление жидкости в электрический сигнал, который обрабатывается и отображается на контрольно-измерительной аппаратуре, обеспечивая детальный анализ работы системы и точную оценку ее энергоэффективности. Гидропривод стендового манипулятора (рисунок 2) состоит из насосной станции 1 с насосом НШ-32 с приводом от асинхронного электродвигателя мощностью 11 кВт и частотой вращения 1450 об/мин, а также маслобак емкостью 45 литров, гидрораспределителя 2 марки Р-75, гидроцилиндра 3 привода стрелы 4, гидроцилиндра 5 привода удлинителя 6 , гидроцилиндров 7 привода механизма поворота колонны 8, соединительных гибких трубопроводов (рукавов) высокого давления (РВД) 9.

Рисунок 2 – Общий вид стендового гидроманипулятора ЛВ–210 с насосной станцией

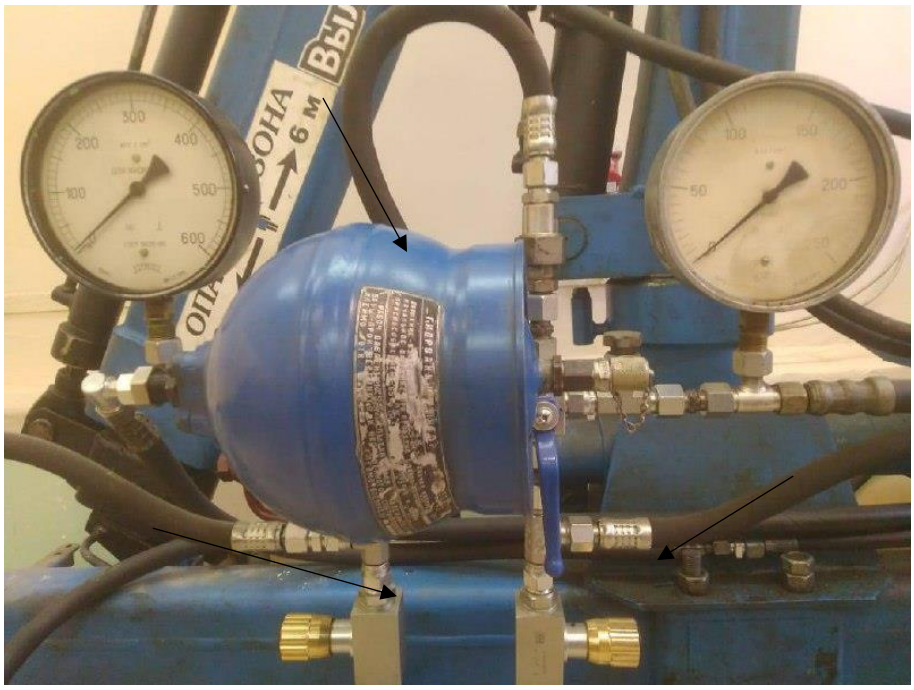


Рисунок 3 – Подсоединение контрольно-измерительной аппаратуры и пневмогидравлического демпфирующего устройства в грузоподъемный механизм стендового гидроманипулятора

В подводящий 11 (рисунок 3) и отводящий 12 трубопроводы, соединенными между собой, дополнительно подключен пневмогидроаккумулятор 13.

В ходе лабораторной калибровки датчика давления применяется насосная установка и измерительная система ZET 058. Давление в насосной системе ступенчато меняется на 0,5 МПа, при этом сигнал, поступающий с датчика, будет фиксироваться с помощью компьютера. ZET 058 и преобразоваться из налогового сигнала с датчика в цифровую форму и выводиться на компьютер в виде графика и таблицы данных. Тарировка позволит установить точное соответствие между давлением в системе и показаниями датчика.

Полученные данные могут быть использованы для калибровки контрольно-измерительной аппаратуры и обеспечения точности измерений.

Для изучения поведения гидропривода выполнен анализ поршневых камер гидроцилиндров. При этом учитывается как наличие, так и отсутствие гидропневмоаккумулятора в гидравлической системе манипулятора ЛВ-210-01 (рисунок 4).

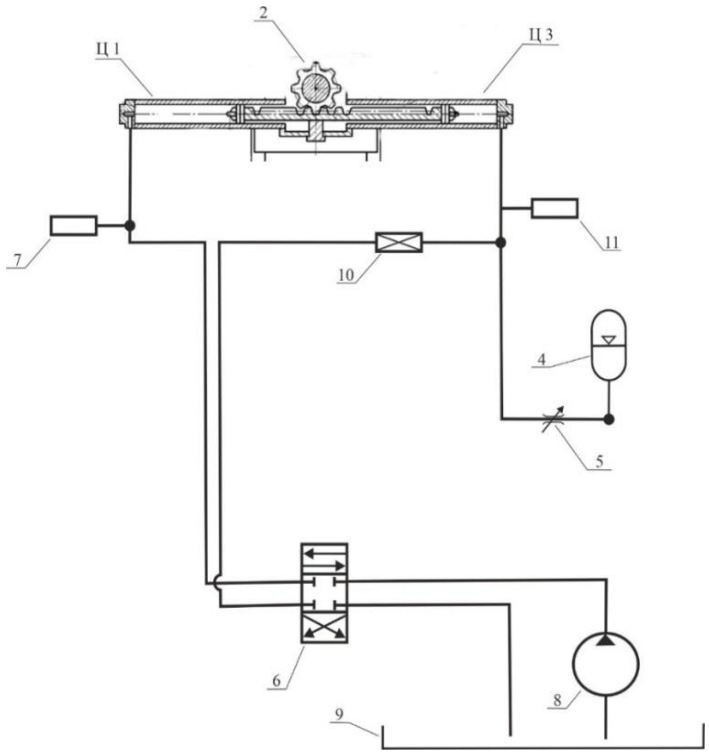


Рисунок 4 – Гидрокинематическая схема лабораторного стенда, включающего гидроманипулятор модели ЛВ-210-01.

Подготовительный этап:

1. Проверка и подготовка оборудования: Перед началом эксперимента необходимо убедиться в исправности всех компонентов гидросистемы, включая гидрораспределитель (в данном случае Badestnost 5-408), гидроцилиндры (основной цилиндр 1 и цилиндр рекуперации 3), гидроаккумулятор 4, дроссель 5, краны 10, гидробак 9, а также измерительное оборудование для регистрации давления и углов поворота. Следует проверить уровень рабочей жидкости в гидробаке и убедиться в отсутствии утечек.

2. Установка параметров эксперимента: в соответствии с планом полнофакторного эксперимента, необходимо установить значения варьируемых параметров:

Вылет стрелы: будут использованы три значения: 1,6 м, 2,7 м и 3,8 м.

Диаметр дросселя гидроаккумулятора 3,8 мм, 7,6 мм, 11,4 мм.

Масса груза 150 кг.

Максимальный угол поворота колонны зафиксирован на уровне 180°.

Номинальное давление в гидросистеме поддерживается на уровне 20 МПа.

Номинальный расход рабочей жидкости установлен на уровне 26 л/мин.

Предварительная зарядка гидроаккумулятора составляет 5 МПа.

3. Настройка измерительной аппаратуры: необходимо подключить датчики давления к гидроцилиндрам Ц1 и Ц3 и настроить систему регистрации данных для фиксации изменений давления в процессе поворота колонны. Также необходимо обеспечить точное измерение углов поворота колонны.

Этапы проведения эксперимента:

1. Первый этап: Поворот колонны и накопление энергии:

Кран 10 открывается, обеспечивая поступление рабочей жидкости к гидроцилиндру 1. Дроссель 5 при этом закрыт, чтобы создать сопротивление потоку рабочей жидкости.

Гидрораспределитель 6 переключается в положение, обеспечивающее подачу рабочей жидкости в гидроцилиндр 1, что приводит к повороту колонны 2 против часовой стрелки.

Поворот колонны осуществляется на заданные углы (60° и 120°). После каждого поворота гидрораспределитель переводится в нейтральное положение, прекращая подачу рабочей жидкости.

Одновременно с переводом распределителя в нейтральное положение закрывается кран 10 и открывается дроссель 5.

После прекращения подачи давления, колонна, обладая инерцией, продолжает поворот против часовой стрелки. Открытый дроссель 5 позволяет жидкости из гидроцилиндра поступать в гидроаккумулятор 4, накапливая энергию торможения.

Когда колонна полностью останавливается, дроссель 5 закрывается, фиксируя энергию, накопленную в гидроаккумуляторе.

Производится измерение давления в гидроцилиндрах Ц1 и Ц3 при пошаговом повороте колонны на угол 30°.

2. Второй этап: Торможение и стабилизация:

После полной остановки колонны необходимо выждать около 10 секунд для стабилизации колебаний груза. Это позволит избежать погрешностей при измерении угла поворота, вызванного возвратом энергии.

3. Третий этап: Использование накопленной энергии:

После стабилизации колебаний дроссель 5 открывается.

Гидрораспределитель 6 переключается в положение, обеспечивающее слив рабочей жидкости из гидроцилиндра 1 в гидробак 9. При этом энергия, накопленная в гидроаккумуляторе 4, высвобождается и приводит к повороту колонны в обратном направлении.

Производится замер угла поворота колонны, который произошел за счет энергии, запасенной в гидроаккумуляторе. Этот угол характеризует эффективность системы рекуперации энергии.

4. Повторение эксперимента:

Для получения достоверных результатов необходимо повторить эксперимент несколько раз для каждого сочетания параметров (масса груза и вылет стрелы). Это позволит оценить статистическую значимость полученных данных и выявить случайные ошибки.

Для каждой итерации записываются показания датчиков давления в гидроцилиндрах Ц1 и Ц3.

Анализ результатов:

1. Обработка данных: после завершения серии экспериментов необходимо обработать полученные данные. Это включает в себя:

Расчет среднего значения угла поворота колонны при использовании накопленной энергии для каждого сочетания параметров.

Определение зависимости угла поворота от массы груза и вылета стрелы.

Анализ изменений давления в гидроцилиндрах Ц1 и Ц3 в процессе поворота колонны и рекуперации энергии.

2. Оценка эффективности: на основе полученных данных проводится оценка эффективности системы рекуперации энергии. Это включает в себя:

Определение процентного соотношения энергии, возвращенной в систему, к затраченной энергии на поворот колонны.

Оценка влияния массы груза и вылета стрелы на эффективность рекуперации энергии.

Сравнение полученных результатов с теоретическими расчетами и данными, полученными в ходе предварительных испытаний.

Выводы:

На основе анализа результатов эксперимента формулируются выводы об эффективности применения энергосберегающего гидропривода на лесном манипуляторе. В частности, необходимо оценить:

Степень снижения энергоемкости механизма поворота при использовании системы рекуперации.

Влияние рекуперации энергии на динамическую нагруженность гидросистемы.

Оптимальные параметры работы системы (масса груза, вылет стрелы) для достижения максимальной эффективности рекуперации энергии.

Важные замечания:

При анализе результатов необходимо учитывать погрешности измерений и случайные факторы.

Гидроцилиндр 3 выполняет функцию гидроцилиндра рекуперации, обеспечивая возврат энергии торможения.

Результаты данного лабораторного эксперимента позволят оценить перспективность использования энергосберегающих гидроприводов в лесных манипуляторах и разработать рекомендации по их оптимизации.

Список литературы

1. Вялов, С.А., Рыбак, А.Т., Цыбрий, И.К., Пелипенко, А.Ю. Трехскоростной гидромеханический привод возвратно-поступательного движения с рекуперацией энергии // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021; 9: 397-401.

2. Pelipenko A., Rybak A., Sarkisian D., Saakian S., Zhyravlyova A. Stand for Life Tests of Plunger Hydraulic Cylinders // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022; 246: 198–206.

3.Попиков, П.И. Стенд для испытаний грузоподъемных механизмов лесных маманипуляторов с рекуперацией энергии/ П.И. Попиков, А.В.Конюхов, С.К.Попиков, А.В. Попикова // В сборнике: Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. с. 105-110.

4. Федченко, В.Б., Хакимов, Э.Ф. Анализ компоновки перспективного Гибридного форвардера с мотор-Колесами к.т.н. Доцент Студент-магистр ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии им. М. Ф. Решетнева // Сборник статей XLV Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2020. – 256 с.

5. Четверикова, И.В., Зимарин, С.В., Бурдыкин, А.В. К вопросу совершенствования гидропривода бесчокерного трелевочного захвата // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021: 197-199.

References

1. Vyalov S.A., Rybak A.T., Tsybri I.K., Pelipenko A.Yu. Three-speed hydromechanical reciprocating drive with energy recovery // Assembly in mechanical engineering, instrument engineering. 2021; 9: 397-401.

2. Pelipenko A., Rybak A., Sarkisian D., Saakian S., Zhyravlyova A. Stand for Life Tests of Plunger Hydraulic Cylinders // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022; 246: 198-206.

3. Popikov P.I. Test bench for lifting mechanisms of forest hydraulic manipulators with energy recovery/ P.I. Popikov, A.V.Konyukhov, S.K.Popikov, A.V. Popikova//In the collection: energy efficiency and energy conservation in modern production and society. materials of the international scientific and practical conference. Voronezh, 2022. pp. 105-110.

4. Layout analysis of a promising Hybrid forwarder with motor Wheels Fedchenko V.B. Candidate of Technical Sciences Associate Professor Khakimov E.F. Master's student of the

Siberian State University of Science and Technology named after M. F. Reshetnev // Collection of articles XLV International Scientific and Practical Conference.

5. Chetverikova I.V., Zimarin S.V., Burdykin A.V. On the issue of improving the hydraulic drive of a shockless skidding gripper // Improving the efficiency of the forest complex. Proceedings of the seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk, 2021: 197-199.

DOI: 10.58168/Forestry2025_707-711
УДК 349:004.056

ПРАВОВЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМАХ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

А.Г. Абрасимовская

студент кафедры «Систем информационной безопасности»,
Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия

Аннотация.
В статье рассматриваются правовые и технические аспекты защиты персональных и экологических данных в цифровых платформах лесопользования. Анализируется российское законодательство о персональных данных и открытости экологической информации, а также международные требования. Подробно описаны технические риски: утечки, атаки на инфраструктуру, угрозы беспилотникам и датчикам. Особое внимание уделено практическим подходам к защите: классификация данных, двухконтурная архитектура, криптография, фильтрация экологической информации. Делается вывод о необходимости балансировать между конфиденциальностью и прозрачностью.

Ключевые слова: кибербезопасность, лесопользование, персональные данные, экологическая информация, цифровые платформы, защита данных.

LEGAL AND TECHNICAL ASPECTS OF PERSONAL AND ENVIRONMENTAL DATA PROTECTION IN DIGITAL FOREST MANAGEMENT PLATFORMS

A.G. Abrasimovskaya

Student of the Department of Information Security Systems,
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract.
The article examines the legal and technical aspects of personal and environmental data protection in digital forest management platforms. The article analyzes the Russian legislation on personal data and openness of environmental information, as well as international requirements. Technical risks are described in detail: leaks, attacks on infrastructure, threats to drones and sensors. Special attention is paid to practical approaches to protection: data classification, dual-circuit architecture, cryptography, filtering of environmental information. It is concluded that there is a need to balance confidentiality and transparency.

Keywords: cybersecurity, forest management, personal data, environmental information, digital platforms, data protection.

© Абрасимовская А.Г., 2025

Введение

Цифровизация лесного хозяйства в последние годы стала неотъемлемой частью управления отраслью. Сегодня государственные органы, арендаторы и научные организации опираются на геоинформационные системы, мобильные приложения лесничих, беспилотные летательные аппараты и датчики, интегрированные в единую цифровую инфраструктуру. Такие платформы аккумулируют колоссальные объёмы данных: от сведений о договорах аренды до информации о состоянии лесных массивов, почв и биоразнообразия. Именно здесь проявляется уникальная специфика — в рамках одной информационной системы одновременно обрабатываются персональные данные сотрудников, подрядчиков и граждан, а также экологическая информация, которая по закону относится к общедоступной категории. На практике это означает, что специалисты сталкиваются с необходимостью балансировать между строгими требованиями по конфиденциальности и одновременной обязанностью обеспечивать прозрачность и доступность сведений о состоянии окружающей среды.

Правовые рамки

Законодательство о персональных данных в России построено достаточно последовательно и жёстко. Федеральный закон № 152-ФЗ, постановление правительства № 1119 и приказы ФСТЭК определяют требования к локализации, организационно-техническим мерам и криптографической защите [1; 2; 4]. В рамках лесных платформ это означает, что все сведения о сотрудниках лесничеств, арендаторах и подрядчиках должны храниться на территории Российской Федерации, обрабатываться с учётом уровня защищённости и быть недоступными для несанкционированного доступа. Нарушение этих требований чревато не только штрафами, но и потерей доверия со стороны государства и общества.

Совершенно иная логика заложена в регулировании экологической информации. Закон «Об охране окружающей среды» прямо указывает на её общедоступный характер [3]. Государство намеренно делает данные о состоянии природной среды открытыми, поскольку прозрачность экологической информации рассматривается как инструмент общественного контроля. Однако на практике здесь возникают коллизии: публикация точных координат гнездовий редких видов может привести к браконьерству, а открытые карты лесосек — стимулировать незаконные вырубки. Таким образом, закон требует открывать данные, но здравый смысл подсказывает необходимость в их фильтрации и обобщении.

Дополнительный уровень регулирования задают Лесной кодекс и закон № 415-ФЗ об учёте древесины [5], которые обязывают вести электронный учёт заготовки и сделок в государственных системах. Если платформа признаётся критически важной, на неё распространяются требования закона о КИИ [6]. Для международных проектов неизбежно встаёт вопрос соответствия GDPR [7]. Европейские партнёры требуют соблюдения норм обработки персональных данных резидентов ЕС, а штрафы за нарушения достигают миллионов евро. Таким образом, правовая рамка лесных цифровых платформ складывается из трёх слоёв: национальное регулирование персональных данных, открытость экологической информации и международные обязательства.

Технические риски

Когда речь заходит о технических рисках, важно понимать, что лесные платформы уязвимы сразу в нескольких направлениях. Персональные данные оказываются под угрозой при утечках баз пользователей и подрядчиков, при фишинговых атаках на сотрудников или при недостаточной защите мобильных приложений. В реальной практике именно мобильные клиенты часто становятся слабым звеном: пользователи выбирают простые пароли, а приложения обмениваются данными без достаточного уровня шифрования, что облегчает задачу злоумышленникам.

Экологическая информация на первый взгляд не выглядит столь критичной, но в действительности именно она нередко представляет собой особую ценность для

злоумышленников. Публикация подробных карт лесных кварталов и свежих рубок способна облегчить работу «чёрным» заготовителям. Координаты редких видов животных и растений становятся подсказкой для браконьеров. Кроме того, при отсутствии механизмов цифровой подписи и контроля версий возможна манипуляция картографическими данными и отчётами: арендаторы могут подчищать информацию, скрывая нарушения. Не стоит забывать и о сенсорных системах: без защиты каналов связи данные от датчиков и беспилотников могут быть подменены, что приведёт к ложным выводам о состоянии лесных массивов.

Инфраструктурные риски не менее серьёзны. Очень часто встречается ситуация, когда облачные хранилища или бакеты, содержащие слои ГИС, оставлены в режиме «по умолчанию» и доступны любому пользователю по ссылке. API геосервисов при слабой авторизации позволяют выгружать слои данных без проверки прав доступа. Растёт угроза атак на цепочку поставок: в системы внедряются обновления без проверки цифровой подписи, что открывает путь для вредоносного кода. Особого внимания требуют беспилотники: без защищённых каналов связи они могут быть перехвачены или заглушены, что угрожает не только данным, но и безопасности людей. И, наконец, классические конфигурационные ошибки — оставленные стандартные пароли, лишние сервисы и открытые порты — до сих пор остаются самой распространённой точкой входа для злоумышленников.

Практика защиты

Для снижения этих рисков необходимо выстраивать системный подход. Опыт показывает, что успешные проекты всегда начинаются с классификации данных: персональные сведения выделяются в отдельный режим обработки, экологическая информация разделяется на открытые и чувствительные категории. Вторая важная мера — создание двухконтурной архитектуры, где внутренний контур предназначен для специалистов и хранит полный объём информации, а внешний — формирует агрегированные и обезличенные сведения для общества. На практике это позволяет соблюсти требования закона и одновременно минимизировать риски.

Не менее важен контроль доступа, привязанный к географии. В лесной отрасли уместно применять модели типа Geo-ABAC, когда арендатор видит только данные в пределах своего квартала, а инспектор — информацию по своему лесничеству [8]. Криптографическая защита должна быть обязательной: каждая система использует собственные ключи, которые регулярно ротируются и хранятся в защищённых модулях. Отдельного внимания заслуживает защита мобильных клиентов и дронов: обновления программного обеспечения должны подписываться, каналы связи шифроваться, устройства контролироваться централизованно.

Особое место занимает фильтрация экологических данных. Публикация сведений о редких видах должна происходить с обобщением координат, данные о новых лесосеках могут раскрываться только после временной задержки, а чувствительные слои — исключаться из открытого доступа. Международная практика, в частности рекомендации GBIF, показывает, что такие меры не снижают ценности данных для науки и общества, но эффективно минимизируют угрозы [9].

Заключение

Цифровые платформы лесопользования находятся в уникальном положении: они должны одновременно обеспечивать строгую конфиденциальность персональных данных и прозрачность экологической информации. Эти два режима по природе своей противоречивы, и именно поэтому вопрос защиты здесь приобретает особую сложность.

Как показывает практика, успешными становятся те проекты, где защита данных встроена в архитектуру с самого начала, а не навешивается поверх готовых решений. Классификация информации, двухконтурная архитектура, криптография, контроль доступа и фильтрация экологических сведений — это не формальности, а реальные механизмы, которые позволяют выполнять требования закона, сохранять доверие общества и

обеспечивать устойчивое развитие отрасли. В конечном счёте информационная безопасность в лесном секторе — это не только про защиту данных, но и про сохранение самой природы.

Список литературы

1. О персональных данных: федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 14.07.2022) // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (1 ч.). – Ст. 3451.
2. Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: постановление Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119 (ред. от 13.07.2022) // Собрание законодательства РФ. – 2012. – № 45. – Ст. 6257.
3. Об охране окружающей среды: федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 30.12.2021) // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 2. – Ст. 133.
4. Об утверждении Состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2013. – № 34 (опубликован 26.08.2013).
5. Об учете древесины и о сделках с ней: федеральный закон от 28.12.2013 № 415-ФЗ (ред. от 11.06.2021) // Собрание законодательства РФ. – 2013. – № 52 (Часть I). – Ст. 6964.
6. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ (ред. от 04.11.2022) // Собрание законодательства РФ. – 2017. – № 31 (Часть I). – Ст. 4746.
7. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation) // Official Journal of the European Union. – 2016. – L 119. – P. 1–88.
8. OGC GeoXACML 3.0 Standard. Open Geospatial Consortium, 2017. – 121 p.
9. Best practices for publishing sensitive species data / Global Biodiversity Information Facility. – 2019. – 18 p.
10. ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements. – 2022. – 21 вір.
11. ISO/IEC 27701:2019 Security techniques — Extension to ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 27002 for privacy information management — Requirements and guidelines. – 2019. – 70 p.

References

1. Federal Law No. 152-FZ of July 27, 2006, On Personal Data. (2006). Collection of Legislation of the Russian Federation, (31, Part I), Article 3451.
2. Russian Federation, Government. (2012, November 1). On approval of the requirements for the protection of personal data during their processing in personal data information systems (Decree No. 1119). Collection of Legislation of the Russian Federation, (45), Article 6257.
3. Federal Law No. 7-FZ of January 10, 2002, On Environmental Protection. (2002). Collection of Legislation of the Russian Federation, (2), Article 133.
4. Russian Federation, Federal Service for Technical and Export Control (FSTEC). (2013, February 18). On approval of the Composition and content of organizational and technical measures to ensure the security of personal data during their processing in personal data information systems (Order No. 21). Bulletin of Regulatory Acts of Federal Executive Authorities, (34).

5. Federal Law No. 415-FZ of December 28, 2013, On Timber Accounting and Transactions Therewith. (2013). Collection of Legislation of the Russian Federation, (52, Part I), Article 6964.

6. Federal Law No. 187-FZ of July 26, 2017, On the Security of the Critical Information Infrastructure of the Russian Federation. (2017). Collection of Legislation of the Russian Federation, (31, Part I), Article 4746.

7. European Parliament and Council of the European Union. (2016). Regulation (EU) 2016/679 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). Official Journal of the European Union, L 119/1. http://data.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj

8. Open Geospatial Consortium. (2017). OGC GeoXACML 3.0 Standard. https://www.ogc.org/standard/geoxacml/

9. Global Biodiversity Information Facility. (2019). Best practices for publishing sensitive species data. https://www.gbif.org/document/82292/best-practices-for-publishing-sensitive-species-data

10. International Organization for Standardization. (2022). ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements.

11. International Organization for Standardization. (2019). ISO/IEC 27701:2019 Security techniques — Extension to ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 27002 for privacy information management — Requirements and guidelines.

DOI: 10.58168/Forestry2025_712-718
УДК 333:528:44

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И СЕНСОРНЫЕ АРХИТЕКТУРЫ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

А.Е. Авдонина
студент
А.В. Чураков
к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация, метрология и управление в технических системах»
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация.
В статье проводится анализ методологических подходов и сенсорных архитектур БПЛА для мониторинга лесных экосистем. Рассматриваются возможности современных систем дистанционного зондирования, включая мультиспектральные, гиперспектральные и лидарные технологии. Особое внимание уделяется практическим аспектам применения беспилотных решений для решения задач лесного хозяйства. Демонстрируется эффективность комплексного использования различных сенсоров для получения точных данных о состоянии лесных массивов.

Ключевые слова: БПЛА, мониторинг лесов, сенсорные архитектуры, мультиспектральная съёмка, лидар, гиперспектральная съёмка, лесное хозяйство.

METHODOLOGICAL ASPECTS AND SENSOR ARCHITECTURES OF UAVS FOR MONITORING FOREST ECOSYSTEMS

A.E. Avdonina
student
A.V. Churakov
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation, Metrology and Control in Technical Systems"
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia

Abstract.
The article analyzes methodological approaches and sensor architectures of UAVs for monitoring forest ecosystems. The possibilities of modern remote sensing systems, including multispectral, hyperspectral and lidar technologies, are considered. Special attention is paid to the practical aspects of using unmanned solutions to solve forestry problems. The effectiveness of the integrated use of various sensors to obtain accurate data on the state of forests is demonstrated.

Keywords: UAVs, forest monitoring, sensor architectures, multispectral imaging, lidar, hyperspectral imaging, forestry.

Актуальность мониторинга лесных экосистем обусловлена их критической ролью в поддержании экологического баланса, экономической стабильности и социального благополучия. Леса являются ключевым компонентом биосферы, регулирующим климат, сохраняющим биоразнообразие и обеспечивающим человечество ресурсами [7]. Однако совокупное воздействие антропогенных и природных факторов вызывает структурно-функциональные изменения в лесных экосистемах, что обусловливает необходимость их системного мониторинга и адаптивного управления. Мониторинг позволяет оперативно

© Авдонина А. Е., Чураков А. В., 2025

выявлять изменения в состоянии лесов, такие как незаконные рубки, распространение вредителей, последствия пожаров и климатические сдвиги. Это необходимо для своевременного принятия мер по защите и восстановлению лесов, что в конечном итоге способствует устойчивому развитию и сохранению природного наследия для будущих поколений. Беспилотные летательные средства значительно улучшают мониторинг лесных экосистем благодаря оперативности, мобильности и высокой детализации данных. Они позволяют оперативно обследовать труднодоступные территории, выявляя незаконные рубки, очаги болезней и последствия пожаров с разрешением до нескольких сантиметров. Мультиспектральная съемка помогает оценивать состояние растительности, а гибкость маршрутов адаптируется под конкретные задачи. [3] По сравнению с традиционными видами наблюдения, которые имеют риски в первую очередь для персонала, БПЛА является более экономичным и безопасным методом.

Цель данной статьи – раскрыть ключевые методологические подходы и принципы построения сенсорных архитектур беспилотных летательных аппаратов, применяемых для решения задач мониторинга лесных экосистем.

Современные методы мониторинга лесов представляют собой комплекс высокотехнологичных решений, интегрирующих данные различного уровня для получения объективной и оперативной информации о состоянии лесных экосистем. Традиционные наземные наблюдения, включающие таксацию - учёт и материальная оценка лесных ресурсов и визуальную оценку, сегодня дополняются и частично заменяются дистанционными технологиями, позволяющими охватывать значительные территории с высокой детальностью. Космический мониторинг осуществляемые с помощью спутниковых систем среднего и высокого разрешения, таких как Sentinel – 2 и Landsat, обеспечивает регулярное наблюдение за обширными лесными массивами, отслеживание динамики изменений, обнаружение пожаров и оценку состояния растительности через расчет вегетационных индексов [2]. Особую роль играют технологии лазерного сканирования – Лидар, обеспечивающие получение высокоточных трехмерных моделей рельефа и лесного полога, что невозможно при использовании только оптических методов. Лидарные данные позволяют точно определять высоту деревьев, объем биомассы и изучать пространственную структуру насаждений. Дополнительные возможности предоставляют тепловые и гиперспектральные камеры, которые используются для обнаружения пожаров, оценки водяного стресса растений и диагностики фитопатологий на ранних стадиях. Обработка собранных данных осуществляется с применением искусственного интеллекта и машинного обучения, позволяя автоматизировать процессы дешифрирования снимков, детектирования кров деревьев и оценки таксационных показателей. [4] Завершающим звеном систем мониторинга являются беспилотные летательные аппараты, которые обеспечивают максимальную гибкость, оперативность и детальность сбора информации. (рисунок 1)

БПЛА позволяют проводить целевой мониторинг отдельных участков, создавать высокоточные 3D-модели с использованием фотограмметрии и лазерного сканирования, осуществлять мультиспектральную съемку для оценки здоровья растительности, оперативно обнаруживать и документировать очаги возгораний, болезни и незаконные вырубки, а также контролировать эффективность лесовосстановительных мероприятий.

Методологические аспекты использования беспилотных летательных аппаратов представляют собой комплексный, многоэтапный процесс, требующий тщательного планирования и строгой последовательности действий для достижения научных или прикладных целей. Ключевыми компонентами данной методологии являются планирование миссии, сбор данных, обработка и анализ полученной информации, каждый из которых содержит ряд критически важных процедур. Планирование миссии является фундаментальным этапом, от которого на 80% зависит успех всего проекта. Этот процесс начинается с четкого формулирования цели и задач: будь то создание плана местности, 3D-моделирование объекта, мониторинг состояния сельскохозяйственных культур, проведение

картографических или инспекционных работ. Исходя из целей, определяются требования к результату: пространственное разрешение (GSD), точность геопривязки, тип выходных данных (растр, облако точек, модель, карта индексов). Далее осуществляется выбор территории и проводится камеральная подготовка: анализ рельефа, изучение законодательных ограничений на полеты в данном районе, определение зон взлета-посадки и потенциально опасных участков.

Рисунок 1.

На основе этих данных производится проектирование полетного задания в специализированном программном обеспечении. Здесь задаются ключевые параметры: тип маршрута (например, зигзаг для аэрофотосъемки или произвольный маршрут для инспекции), высота полета, напрямую влияющая на разрешение снимков, продольное и боковое перекрытие между снимками (обычно 80%/70% для построения 3D-моделей и 60%/40% для простого плана), скорость полета, углы съемки. Важнейшим элементом планирования является обеспечение геопривязки данных, для чего на местности заранее размечаются и измеряются с высокой точностью (с помощью GNSS-приемников в кинематическом режиме) опорные точки, которые в дальнейшем используются для коррекции координат снимков. Также проводится оценка погодных условий и проверка состояния оборудования – БПЛА, датчиков, аккумуляторов.

Методы сбора данных заключаются в непосредственном выполнении запланированной миссии. Пилот-оператор проводит предполетную проверку всех систем, калибровку датчиков (например, компаса и инерциальной навигационной системы) и выполняет взлет, чаще всего в автоматическом режиме согласно загруженному маршруту. В процессе полета БПЛА автономно следует по заданным точкам, а встроенная камера или иной sensor (мультиспектральный, тепловизионный, лидар) производит съемку с заданными интервалами. Оператор осуществляет постоянный мониторинг телеметрии – высоты, скорости, состояния батареи, качества сигналов связи и GNSS – и готов в любой момент перехватить управление в ручной режим в случае возникновения нештатной ситуации. После завершения съемки выполняется посадка, и данные в виде набора отдельных снимков с точными метаданными о времени, координатах и углах ориентации (EXIF и XMP данные) копируются с бортового накопителя для последующей обработки. Обработка данных представляет собой, по сути, процесс трансформации сырых данных в

пригодную для анализа информацию и осуществляется в специализированном программном обеспечении для фотограмметрической обработки. Первым этапом является импорт всех полученных изображений и данных с полевых контрольных точек. Далее запускается ключевой процесс – выравнивание снимков, в ходе которого программа находит совпадающие точки на перекрывающихся фотографиях, определяет их пространственное положение и строит разреженное облако точек, реконструируя geometry съемки и позицию каждой камеры в момент экспозиции. На следующем этапе с использованием опорных точек выполняется оптимизация и привязка всей модели к требуемой системе координат, что значительно повышает ее точность. После этого строится плотное облако точек, где каждый пиксель получает трехмерные координаты. На основе этого облака генерируются основные производные продукты: цифровая модель поверхности, цифровая модель рельефа и мозаика – выровненный и равномасштабный фотоплан, являющийся основным картографическим результатом. Для 3D-моделирования дополнительным шагом является построение текстурированной полигональной модели объекта. Анализ данных является заключительным и наиболее содержательным этапом, где полученные продукты используются для извлечения целевой информации. Методы анализа напрямую зависят от поставленных задач. При работе с фотопланом и DSM это может быть визуальный дешифрирование объектов, контурное выделение, создание векторных слоев и картографирование. В сельском хозяйстве проводится расчет вегетационных индексов по данным мультиспектральной съемки для оценки индекса NDVI, что позволяет выявить зоны стресса растений. В геодезии и строительстве выполняются высокоточные измерения расстояний, площадей, объемов земляных масс, а также мониторинг деформаций путем сравнения ЦМР, полученных в разное время. 3D-модели используются для проведения виртуальных инспекций, создания интерактивных карт и планов. Результаты анализа систематизируются, интерпретируются и оформляются в виде отчетов, карт, графиков и диаграмм, которые и представляют собой конечную ценность всего проекта, позволяя принимать обоснованные управленческие, инженерные или научные решения.[5]

Сенсорная архитектура является центральным элементом любого беспилотного летательного аппарата, определяя его функциональное назначение и конечную ценность собираемых данных. Она представляет собой комплекс датчиков, камер и измерительных систем, интегрированных в платформу БПЛА для взаимодействия с окружающей средой. Подробное рассмотрение этой архитектуры включает в себя классификацию сенсоров, методологию выбора оборудования и обзор инновационных разработок в данной области.

Классификация сенсоров для БПЛА проводится по нескольким ключевым признакам, основным из которых является принцип регистрации данных и решаемые задачи. Во-первых, это пассивные и активные сенсоры. Пассивные сенсоры регистрируют отраженное излучение от внешних источников, прежде всего солнечного света. К ним относится подавляющее большинство камер: RGB-камеры, воспринимающие видимый свет в красном, зеленом и синем спектральных каналах, и мультиспектральные камеры, которые схватывают данные в узких, специфических диапазонах электромагнитного спектра за пределами видимого человеческим глазом, таких как ближний инфракрасный диапазон или красная граница, что незаменимо для анализа растительности, и гиперспектральные камеры, которые работают по принципу формирования не нескольких, а сотен узких смежных спектральных каналов, создавая тем самым непрерывный спектральный портрет каждого объекта на местности, что открывает возможности для точной идентификации материалов и веществ. Тепловизионные камеры также являются пассивными и регистрируют собственное тепловое излучение объектов в среднем или длинном инфракрасном диапазоне. В противоположность им, активные сенсоры сами генерируют зондирующий сигнал и анализируют его отражение. Ярчайшим примером служит лидар, который измеряет расстояние до объекта с помощью лазерных импульсов, вычисляя время их возврата, что позволяет с высочайшей точностью строить цифровые модели местности даже под пологом леса, а также радары, которые используют радиоволны

и эффективны в условиях плохой видимости. Во-вторых, сенсоры классифицируются по решаемым задачам: фотограмметрические для создания карт и 3D-моделей, спектральные для сельского хозяйства и экологического мониторинга, инспекционные для обследования инфраструктуры, навигационные и так далее.

Критерии выбора сенсорного оборудования формируют собой сложный компромисс между техническими характеристиками, требованиями проекта и экономической целесообразностью. Первым и основным критерием является пространственное разрешение, которое определяет минимальный размер объекта, различимого на снимке. Оно зависит от физического разрешения матрицы камеры и высоты полета: чем больше фокусное расстояние и чем ниже высота, тем выше разрешение. Следующим критически важным параметром является спектральное разрешение, то есть количество и ширина регистрируемых спектральных каналов; для задач агромониторинга необходим датчик, чувствительный к ближнему инфракрасному излучению, в то время как для картографирования достаточно RGB. Радиометрическое разрешение, определяющее способность сенсора различать градации яркости, напрямую влияет на качество данных в условиях слабой освещенности или при анализе слабоконтрастных объектов. Не менее важны эксплуатационные характеристики: вес и габариты сенсора, которые должны соответствовать грузоподъемности и посадочным местам БПЛА, энергопотребление, определяющее время полета, а также устойчивость к вибрациям. Наконец, ключевым фактором является совместимость с системой управления полетом БПЛА для автоматизации съемки и стоимость всего комплекса, включающая не только цену самого сенсора, но и необходимое программное обеспечение для обработки, обучение операторов и техническую поддержку.[6]

Мониторинг лесов при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) уже активно используется в современной практике лесного хозяйства. Так, в Пермском крае были успешно рассмотрены и внедрены различные аспекты применения данной технологии для учета лесных ресурсов и контроля состояния лесных массивов. В настоящее время беспилотные технологии демонстрируют высокую эффективность в сфере лесного мониторинга. Современные БПЛА обеспечивают возможность оперативного учета лесных ресурсов и выявления нарушений в режиме реального времени, что существенно повышает качество контроля за состоянием лесных территорий. Особую значимость представляет возможность обследования труднодоступных участков леса при помощи беспилотных систем. Технические характеристики современных БПЛА позволяют проводить аэрофотосъемку с впечатляющей точностью — до 5 сантиметров на пиксель, что обеспечивает получение детальных и информативных изображений лесных массивов. Технические параметры используемых БПЛА позволяют осуществлять мониторинг обширных территорий. Специализированное оборудование, установленное на аппаратах, включает средства для проведения аэрофотосъемки и тепловизионного контроля. Оптимальная высота полета в диапазоне 200-300 метров обеспечивает необходимый баланс между детализацией получаемых снимков и площадью охвата территории. Интеграционные возможности БПЛА позволяют эффективно внедрять полученные данные в существующие информационные системы. На основе материалов, собранных при помощи беспилотных систем, создаются актуальные цифровые карты лесов, которые регулярно обновляются и используются для ведения государственного лесного реестра. Внедрение беспилотных технологий в систему лесного мониторинга способствует существенному повышению эффективности управления лесными ресурсами. Перспективным направлением является дальнейшее расширение практики применения БПЛА в различных регионах, что позволит обеспечить более качественный контроль за состоянием лесных фондов страны. [1]

Беспилотные летательные аппараты демонстрируют двуединую природу, сочетая потенциал с существенными правовыми барьерами. Ключевые преимущества включают оперативность выполнения задач — мониторинг территорий осуществляется в разы

быстрее традиционных методов, что критически важно при поисково-спасательных операциях и ликвидации ЧС. Существенно снижаются риски для человека благодаря замене персонала при инспекции опасных объектов — высотных конструкций, зон химического заражения. Обеспечивается высочайшая детализация данных через современные сенсоры (лидары, мультиспектральные камеры), недостижимая при наземных работах. Важным фактором остается экономическая эффективность — стоимость эксплуатации несопоставима с пилотируемой авиацией. Основные минусы сконцентрированы в правовой плоскости. Жесткие ограничения на полеты в городах фактически блокируют применение дронов. Процедура получения разрешений на полеты в контролируемом воздушном пространстве чрезмерно бюрократизирована — необходимость получения сертификатов и согласований с органами УВД нивелирует оперативность технологии. Ограничения по высоте и линии видимости сужают возможности для масштабных проектов. Юридическая неопределенность в вопросах конфиденциальности создает риски судебных разбирательств.

Список литературы

1. В Пермском крае рассмотрели вопросы использования БПЛА для учета лесных ресурсов // ФГБУ «Рослесинфорг». – 2023. – URL: https://roslesinforg.ru/news/all/v-permskom-krae-rassmotreli-voprosy-ispolzovaniya-bpla-dlya-ucheta-lesnykh-resursov/ (дата обращения: 20.08.2025).

2. Дистанционный мониторинг лесов с использованием космических данных Sentinel-2 // Innoter. – 2021. – URL: https://innoter.com/articles/distantsionnyy-monitoring-lesov-s-ispolzovaniem-kosmicheskikh-dannykh-sentinel-2/ (дата обращения: 20.08.2025).

3. Использование БПЛА в лесном хозяйстве // BRLab. – URL: https://brlab.ru/scopes/lesnoe-khozyaystvo/ (дата обращения: 20.08.2025).

4. Лесная отрасль: как беспилотники помогают сохранять леса // ЛесПромИнформ. – 2022. – № 7(145). – URL: https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3255 (дата обращения: 20.08.2025).

5. Подготовка к геодезическим миссиям // Skymec. – URL: https://skymec.ru/blog/drone-use-cases/geodeziya/podgotovka-k-geodezicheskim-missiyam/ (дата обращения: 21.08.2025).

6. Сенсоры беспилотников: как роботы ориентируются в пространстве // Фестиваль науки. – URL: https://festivalnauki.ru/media/articles/interesno-o-nauke/sensory-bespilotnikov-kak-roboty-orientiruyutsya-v-prostranstve/ (дата обращения: 21.08.2025).

7. Вырубка лесов: последствия и пути решения // ESG Блог. – URL: https://forest-save.ru/esg-blog/vyirubka-lesov-posledstviya-i-puti-resheniya (дата обращения: 21.08.2025).

References

1. In the Perm Region, the issues of using UAVs to account for forest resources were considered // FSBI Roslesinforg. - 2023. – URL: https://roslesinforg.ru/news/all/v-permskom-krae-rassmotreli-voprosy-ispolzovaniya-bpla-dlya-ucheta-lesnykh-resursov / (date of access: 08/20/2025).

2. Remote monitoring of forests using Sentinel-2 space data // Innoter. – 2021. – URL: https://innoter.com/articles/distantsionnyy-monitoring-lesov-s-ispolzovaniem-kosmicheskikh-dannykh-sentinel-2 / (date of access: 08/20/2025).

3. The use of UAVs in forestry // BRLab. – URL: https://brlab.ru/scopes/lesnoe-khozyaystvo / (date of reference: 08/20/2025).

4. Forestry industry: how drones help preserve forests // LesPromInform. – 2022. – № 7(145). – URL: https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3255 (date of access: 08/20/2025).

5. Preparation for geodetic missions // Skymec. – URL: https://skymec.ru/blog/drone-use-cases/geodeziya/podgotovka-k-geodezicheskim-missiyam / (date of access: 08/21/2025).

6. Drone sensors: how robots navigate in space // Science Festival. – URL: https://festivalnauki.ru/media/articles/interesno-o-nauke/sensory-bespilotnikov-kak-roboty-orientiruyutsya-v-prostranstve / (date of access: 08/21/2025).

7. Deforestation: consequences and solutions // ESG Blog. – URL: https://forest-save.ru/esg-blog/vyirubka-lesov-posledstviya-i-puti-resheniya (date of request: 08/21/2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_719-727
УДК 630.61

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Д.В. Арапов
д.т.н., профессор кафедры информационных технологий,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация. Цель работы – исследовать возможность применения искусственных нейронных сетей для моделирования таксационных показателей древостоев сосны и лиственницы, которые способны объединить в единое целое опытные исследования и обеспечивающие достаточно высокую точность моделирования и обладающие надежной прогностической способностью. Недостатком известных информационно-моделирующих систем роста и динамики продуктивности лесов РФ является то, что в их основе лежат регрессионные модели, обладающие недостаточной точностью и прогностической способностью. Для нейросетевой обработки использовали опубликованные в открытой печати данные по таксационным характеристикам сосновых и лиственничных древостоев. Нейросетевое моделирование реализовали посредством открытой программной библиотеки TensorFlow на языке Python, версии 3.11.7.

Ключевые слова: таксационные характеристики, древостои сосновые и лиственничные, искусственные нейронные сети.

MODELING OF TAXATION INDICATORS OF FOREST STANDS

D.V. Arapov
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Information Technology,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The aim of this study was to explore the feasibility of using artificial neural networks to model forest inventory parameters for pine and larch stands. These networks are capable of integrating experimental research, providing a sufficiently high modeling accuracy, and possessing reliable predictive power. A drawback of existing information modeling systems for forest growth and productivity dynamics in the Russian Federation is that they are based on regression models, which have insufficient accuracy and predictive power. Published data on forest inventory parameters for pine and larch stands were used for neural network processing. Neural network modeling was implemented using the open-source TensorFlow library in Python, version 3.11.7.

Keywords: taxation characteristics, pine and larch stands, artificial neural networks.

В последние годы в агропромышленном комплексе страны активно реализуется цифровизация технологических процессов и объектов. Поиск унифицированных подходов для применения цифровых технологий в лесном хозяйстве РФ является актуальным. Бурный рост применения методов искусственного интеллекта – нейросетевого и генетических подходов обуславливается их высокой результативностью в различных областях IT-технологий [1,2,4,5,10-12,19]. Цель работы – исследовать посредством нейросетевовой реализации возможность использования многослойных персептронов для

© Арапов Д. В., 2025

моделирования таксационных характеристик древостоев сосны и лиственницы, которые способны объединить в единое целое опытные исследования и обеспечивающие достаточно высокую точность моделирования и обладающие надежной прогностической способностью.

В большинстве работ по исследованию и моделированию динамики естественного изреживания и роста лесных древостоев приведены результаты математической обработки обширных наблюдений за естественным ростом и отпадом лесных насаждений сосны и лиственницы с различной густотой посадки в разновозрастных лесных монокультурных и поликультурных массивах [2, 6–9, 13–15]. Установлено, что математическая модель динамики гибели элементов биосистемы должна быть аддитивной функцией временного тренда, волновой и случайной компонент. Независимо от первоначальной густоты лесных культур, отпад деревьев, вследствие инерционности механизма саморегуляции биологическим систем, носит колебательный характер [10]. В [24] исследовали влияние на динамику роста сосны в рядовых культурах при заданных вариантах густоты и разных ширине междурядий и шаге посадки.

Разработанные в конце XX и начале XXI века специализированными институтами информационно-моделирующие системы роста и динамики продуктивности лесов РФ основаны на регрессионных экспоненциальных функциях типа Ципфа-Парето-Мандельброта, Пюттера-Берталанфи, Г.Ф. Хильми, иногда аддитивно дополнены функцией *cos(at)*, где *t*-возраст деревьев [3, 6, 14, 15]. Для моделирования среднего диаметра древостоя используют экспоненциально-логарифмическую зависимость от возраста, а среднюю высоту и древесный запас рассчитывают с использованием экспоненциальных функций [3, 6–9, 13, 14]. В [15] установлена оптимальная густота посадки ели в лесокультурных и лесоводственных насаждениях, а в [18] исследована приживаемость саженцев сосны в условиях Карелии. Однако, общеизвестным недостатком регрессионного подхода к моделированию, в том числе таксационных характеристик лесных древостоев, являются недостаточная точность полученных регрессий и узкая прогностическая способность, ограниченная предельными значениями экспериментальных данных. Например, ошибка моделирования в [7, 8, 13, 14] зависимости от возраста и начальной густоты посадки числа, оставшихся после отпада живых деревьев составляет 14-35% отн.

Объектами исследования послужили таксационные показатели древостоев сосны и лиственницы. Для нейросетевой обработки использовали опубликованные в открытой печати [12-14] таксационные исследования. Из [14] взяли обобщенные данные хода роста полных сосновых древостоев III класса бонитета, возраст сосен 10 – 200 лет и данные хода роста модальных древостоев лиственницы южной Якутии, тип леса – брусничниковый, класс бонитета IV, возраст лиственниц 40 – 220 лет. С помощью многослойных персептронов нами были обработаны данные по средней высоте деревьев (*м*), среднему диаметру (*см*), по числу живых деревьев (*шт./га*), древесному запасу ($м^3/га$), общей продуктивности ($м^3/га$), годовому отпаду ($м^3/га/год$).

Нейросетевое моделирование реализовали посредством открытой программной библиотеки для машинного обучения TensorFlow на языке Python версии 3.11.7. Использованные библиотеки – Numpy для поддержки многомерных массивов и Matplot для визуализации данных двумерной графикой. Подробный алгоритм глубокого обучения в используемых многослойных нейронных сетях описан в [1]. В программе реализовали: считывание и разделение данных на входные и выходные, нормировку данных. В обучении многослойного персептрона использовались все имеющиеся данные по каждой технической характеристике древостоя. Структура многослойного персептрона, число нейронов в каждом слое, вид функции активации нейронов (выбрали SiLU), количество эпох (т.е. число прогонов алгоритма оптимизации), коэффициент валидации и другие параметры задаются и реализуются в модуле Net.py. Ответ нейронной сети реализуется после минимизации целевой функции, которая заканчивается при выполнении задания по

числу эпох – 5000 или 25000 срабатываний оптимизатора: $\min E = 0,5\sum_{j=1}^{N}\left(Y_j\left(\mathbf{W}\right)-d_j\right)^2$, где **Y** – искомый вектор значений характеристики; **d** – вектор опытных величин характеристики; N – число опытов. Поиск min E реализуется по вектору синоптических весов связей нейронов $\mathbf{W}$.

При построении результирующих графиков по оси абсцисс выводится возраст деревьев, по оси ординат – опытные и расчетные нейросетевые значения технических характеристик древостоев.

Для глубокого обучения многослойных персептронов на основе опубликованных технических характеристик древостоев взяли оптимизационный алгоритм RMSProp [17] с автоматически изменяющейся скоростью обучения (1):

$$Er\left[grad^2\right]_n = 0,9Er\left[grad^2\right]_{n-1} + 0,1grad_n^2 \quad (1)$$

Искомые синоптические веса связей нейронов вычисляются в оптимизаторе RMSProp с высокой скоростью по формуле (2):

$$w^{n+1} = w^n - \frac{a}{\sqrt{Er\left[grad^2\right]_n + \varepsilon}}grad_n, \quad (2)$$

где $grad_n = \nabla_{w_n} E\left(w_n\right)$ – производная ошибки нейросети; η – шаг обучения алгоритма; $a = 1E-3$ – константа шага обучения; $\varepsilon = 1E-6$.

В отличие от [1], где использовали сигмоидальную функцию активации нейронов, в качестве функции активации нейронов применили функцию Свиша «SiLU» [18]: $swish\left(x\right) = x \cdot sigmoid\left(x\right)$.

Нейромоделирование обобщенных данных хода роста сосновых древостоев. Для пяти искомых параметров (средняя высота, средний диаметр, древесный запас, общая производительность и отпад деревьев) выбрали в процессе цифрового моделирования многослойный персептрон, состоящий из входного слоя, одного скрытого слоя в 20 нейронов и однонейронного выходного слоя, с которого снимается значение технической характеристики.

Для характеристики «число живых деревьев» применили многослойный персептрон с двумя скрытыми слоями по 20 нейронов. На входы персептронов поступает нормированные значения возраста сосен от 10 до 200 лет. Зависимость усредненной высоты сосен от их возраста показана на рис. 1.

Количество эпох равно 5000, средняя относительная ошибка нейромоделирования средней высоты составила $\pm$ 1,47%.

На рис. 2 показано нейросетевое моделирование зависимости усредненного диаметра сосен от их возраста.

Количество эпох – 5000, средняя относительная ошибка нейромоделирования среднего диаметра равна $\pm$ 2,27%.

На рис. 3 показана зависимость числа живых деревьев от возраста сосен.

Число эпох – 25000, средняя относительная ошибка нейромоделирования числа живых сосен равна $\pm$ 6,54%.

На рис.4 приведена графическая зависимость древесного запаса сосен от их возраста.

Число эпох – 5000, средняя относительная ошибка нейромоделирования древесного запаса составила $\pm$ 1,81%.

На рис. 5 представлена зависимость от возраста сосен общей продуктивности лесного массива.

Число эпох – 5000, средняя относительная ошибка нейромоделирования общей продуктивности равна $\pm$ 2,52%.

На рис.6 показана зависимость гибели деревьев от возраста сосен.

Число эпох – 5000, средняя относительная ошибка нейромоделирования отпада деревьев равна ± 3,49%.

Нейромоделирование хода роста древостоев лиственницы южной Якутии.

Для пяти искомых параметров (число деревьев, средняя высота, средний диаметр, древесный запас, общая производительность) применили многослойный персептрон, состоящий из входного слоя, одного скрытого слоя в 19 нейронов и однонейронного выходного слоя, с выхода которого снимается значение таксационной характеристики. Для характеристики «отпад деревьев» применили многослойный персептрон с двумя скрытыми слоями по 19 нейронов. На вход персептрона поступает нормированное значение возраста лиственниц от 40 до 220 лет. С выхода выходного слоя снимается значение характеристики «отпад деревьев». Принятое число эпох равно 5000 для всех 6 характеристик.

На рис. 7 представлены результаты нейромоделирования числа деревьев в зависимости от возраста лиственниц.

Средняя относительная ошибка нейромоделирования числа живых деревьев составила ± 1,97%. На рис. 8 представлены результаты нейромоделирования среднего диаметра деревьев в зависимости от возраста лиственниц. Средняя относительная ошибка нейромоделирования среднего диаметра равна ± 0,85%.

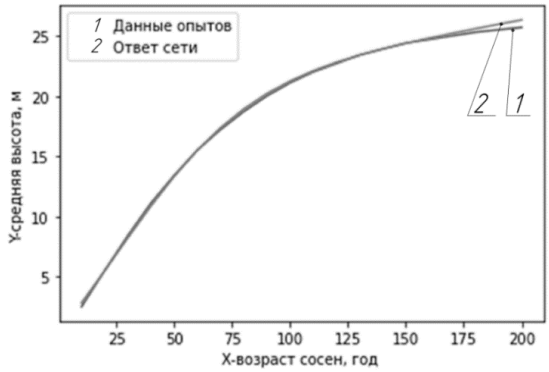
На рис. 9 показана зависимость средней высоты лиственниц от их возраста. Средняя относительная ошибка нейромоделирования средней высоты равна ± 0,94%.

На рис. 10 приведены результаты нейромоделирования древесного запаса от возраста лиственниц. Средняя относительная ошибка нейромоделирования древесного запаса равна 1,09%.

На рис. 11 приведены результаты нейромоделирования общей продуктивности от возраста лиственниц. Средняя относительная ошибка нейромоделирования общей продуктивности равна ± 1,21%.

На рис. 12 приведены результаты нейромоделирования отпада деревьев от возраста лиственниц. Средняя относительная ошибка нейромоделирования отпада равна ± 6,7%.

Проведенное нейромоделирование показало перспективность его использования для исследования закономерностей роста лесных древостоев, как в культурных, так и в естественных насаждениях. По сравнению с [7, 8, 13, 14, 15] относительная ошибка моделирования таксационных показателей древостоев при использовании многослойных персепторнов находится в пределах 1,0-7,0%. Это позволяет сделать вывод о более высокой точности нейросетевых моделей по сравнению с моделями, основанными на регрессионном подходе. Следует отметить незначительное время обучения нейросетевых моделей. Так на персональном компьютере с процессором Intel Core i3-3110M и 16 Гб ОЗУ время расчета при количестве эпох 5000 составляло в среднем 8-10 минут, а при 25 000 эпох – около 1 часа.



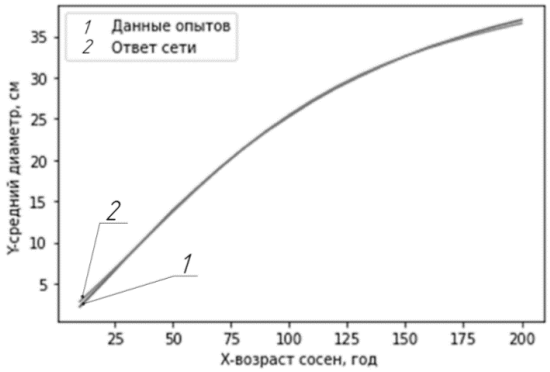


Рисунок 1. Зависимость средней высоты сосен от их возраста

Рисунок 2. Зависимость среднего диаметра от возраста сосен

Таким образом, сследовали возможность и эффективность применения искусственных многослойных нейронных сетей для моделирования таксационных характеристик сосновых и лиственничных древостоев искусственного и естественного происхождения. Система с использованием нейросетевых технологий может быть использована в составе специализированного программного обеспечения для мониторинга таксационных характеристик сосновых и лиственничных древостоев.

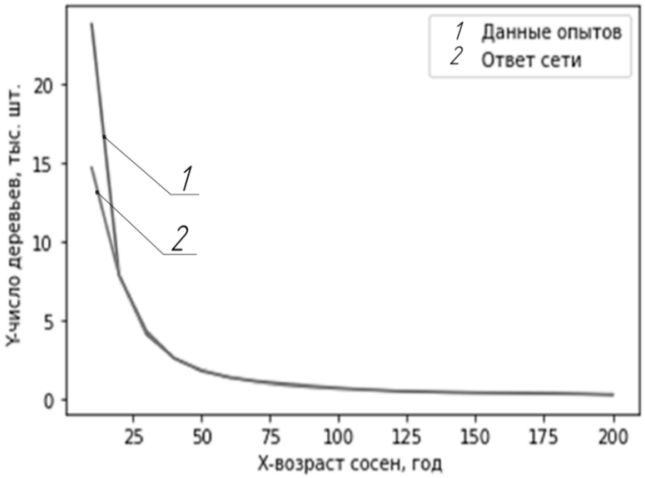


Рисунок 3. Нейромоделирование хода роста насаждений сосны по числу деревьев

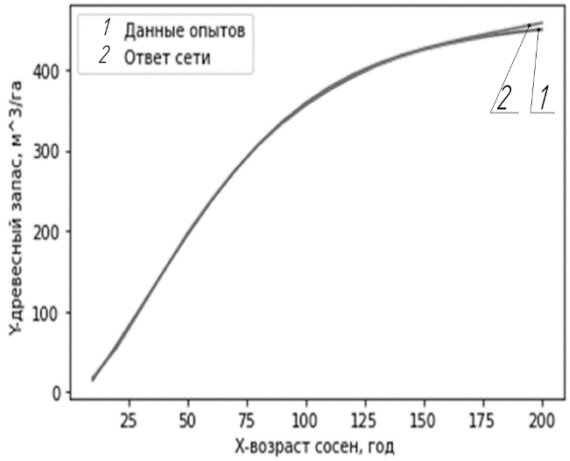


Рисунок 4. Зависимость древесного запаса от возраста сосен

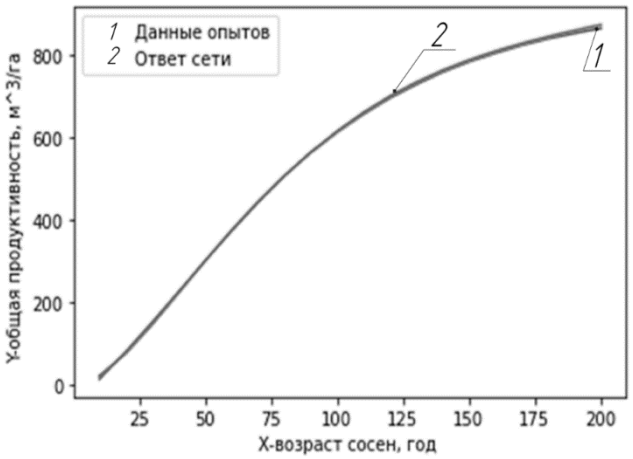


Рисунок 5. Зависимость общей продуктивности массива от возраста сосен

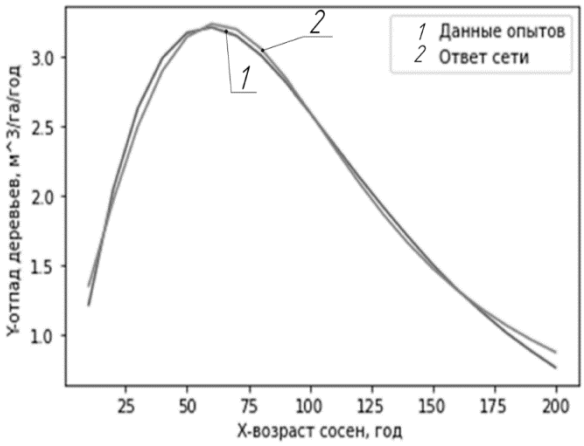


Рисунок 6. Зависимость отпада деревьев от возраста сосен

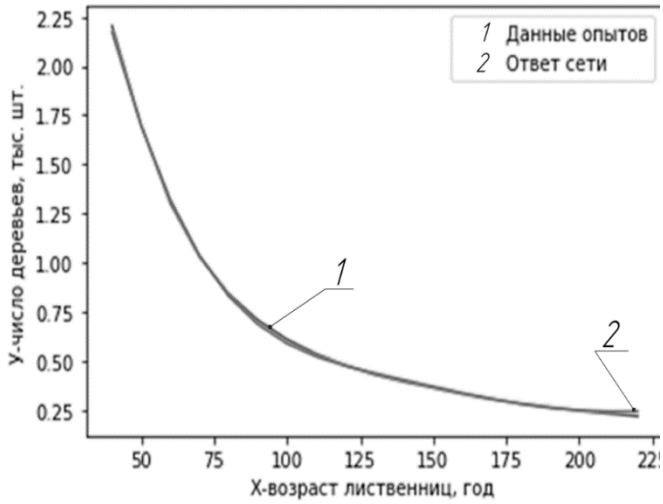


Рисунок 7. Зависимость числа живых лиственниц от их возраста

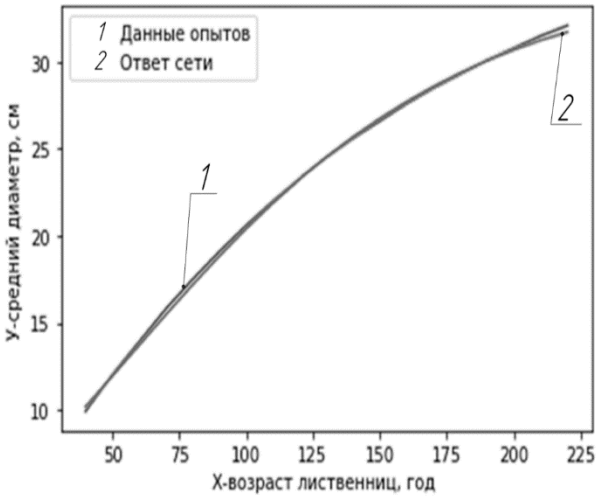


Рисунок 8. Зависимость среднего диаметра лиственниц от их возраста

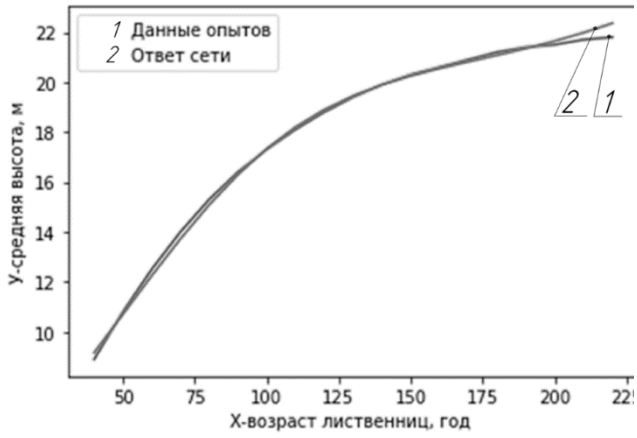


Рисунок 9. Зависимость средней высоты лиственниц от их возраста

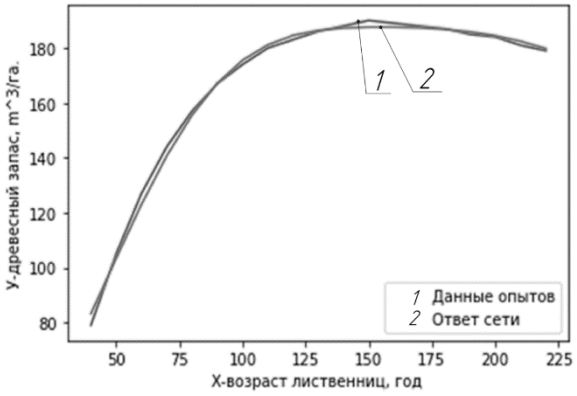


Рисунок 10. Зависимость древесного запаса от возраста лиственниц

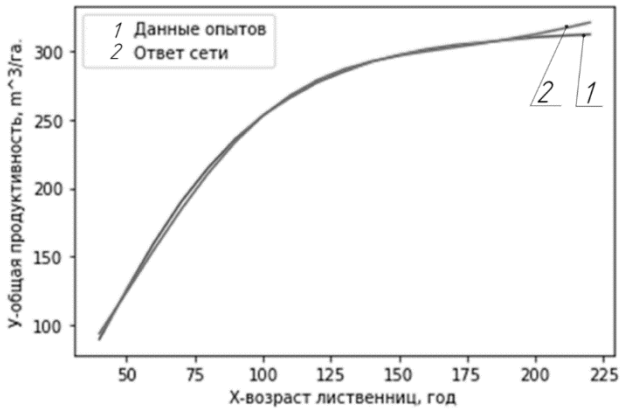


Рисунок 11. Зависимость общей продуктивности от возраста лиственниц

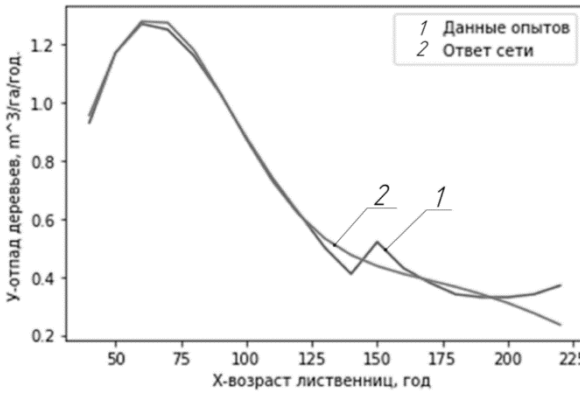


Рисунок 12. Зависимость отпада деревьев от возраста лиственниц

Результаты проведенного исследования показали перспективность использования методов искусственного интеллекта для моделирования таксационных показателей лесных древостоев РФ и имеют методическое и нормативно-справочное значение, а также могут быть использованы при проведении научных, лесоучетных, лесохозяйственных и лесоэксплуатационных работ.

Список литературы

1. Арапов Д.В., Курицын В.А., Скоробогатов С.А. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине // Моделирование систем и процессов. 2024. Т.17. № 3. С. 7-16.
2. Богачев А.В. Лесотаксационные исследования. М.: ВНИИЛМ, 2007. 344 с.
3. Грачев А.В. Применение нейросетевых технологий для прогнозирования состояния работы объектов предприятий АПК // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т.53. №4. С. 816-823.
4. Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Динамическая модель изреживания культур сосны // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 6–21.
5. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Нелинейная модель смешанных эффектов зависимости высоты от диаметра деревьев в древостоях лиственницы // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2021. № 4. С. 42-56.
6. Дубенок Н. Н., Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Оценка статистических моделей распределения деревьев по диаметру в культурах сосны // Лесохозяйственная информация. 2022. № 1. С. 50-61
7. Киреева К.А., Коробова Л.А., Арапов Д.В. Разработка искусственной нейронной сети для классификации ЭКГ // Моделирование систем и процессов. 2023. Т.16. №3. С. 42 – 54.
8. Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Таксационные показатели сосновых древостоев по данным долговременных наблюдений // Сибирский лесной журнал. 2023. № 2. С. 3–16.
9. Мельник П.Г., Воронин Ф.Н., Мерзленко М.Д. Лесокультурно-лесоводственное значение параметров размещения ели при посадке в национальном парке «Лосиный остров» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. №1. С. 52–58.
10. Мерзленко М.Д. Обоснование теории волнообразного роста хвойных лесных культур // Лесной вестник. 2021. Т. 25, №2. С. 3–9.
11. Соколов, А.И., Харитонов В.А., Пеккоев А.Н., Кривенко Т.И. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии // Известия вузов. Лесной журнал. 2015. №6. С. 46–56.
12. Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Нильссон С, Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии: нормативные справочные материалы: 2-е изд. перераб. и дополн. М.: Рослесхоз. 2008. 886 с.
13. Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Нильссон С, Булуй Ю.И. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы и модели биопродуктивности) // Лесное хозяйство. 2004. № 2. С. 40–44.
14. Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Нильссон С, Булуй Ю.И. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы хода роста) // Лесное хозяйство. 2003. № 6. С. 34–38.
15. Шутов И.В., Иванов А.М., Антонов О.И., Власов Р.В., Сергиенко В.Г., Беленец Ю.Е., Смирнов Е.Г., Выродова С.А., Степаненко С.М. Рост сосны в рядовых культурах при заданных вариантах густоты и разных ширине междурядий и шаге посадки // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2014. № 1. С. 19–29.
16. Arapov D.V., Kuritsyn V.A., Petrov S.M., Podgornova N.M. Simulation of the rate of dissolution of sucrose crystals. Journal of Food Engineering. 2022. 318: 110887. – URL: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110887.

17. Elfwing S., Uchibe E., Doya K. Sigmoid-weighted linear units for neural network function approximation in reinforcement learning. Neural Networks. 2018. – URL: https://doi.org/10.1016/j.neunet.2017.12.012

18. Hinton G.E., Srivastava N., Krizhevsky A., Sutskever I., Salakhutdinov R.R. Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. arXiv:1207.0580v1[cs.NE] 3 Jul 2012. – URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.1207.0580.

19. Kuritsyn V.A., Arapov D.V., Goril'chenko R.L. Optimization of circulation water cooling process in forced-draft towers. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 97–108. – URL: https://doi.org/10.1007/s10553-012-0344-1.

References

1. Arapov D.V., Kuritsyn V.A., Skorobogatov S.A. Automated mobile decision-making system for use in special medicine. Modelirovanie system i processov = Modeling of systems and processes, 2024, vol. 17, no. 3, pp. 7-16 (In Russ.). – URL: https://doi.org/10.12737/2219-0767-2024-5-13

2. Bogachev, A.V. Forest taxation studies. Moscow, VNIILM Publ. 2007. 344 p.

3. Grachev AV. Application of neural network technologies for forecasting the operating status of agricultural enterprises. Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh pro-izvodstv = Food Processing: Techniques and Technology, 2023, vol. 53, no. 4, pp. 816–823. (In Russ.). – URL: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2481

4. Demakov Yu.L. Diagnostics of forest ecosystem stability. Yoshkar-Ola Publ. 2000. 416 p.

5. Dubenok N.N., Lebedev A.V., Kuzmichev V.V. Dynamic model of thinning of pine crops. Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoj akademii = Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy, 2022, no. 239, pp. 6–21. (In Russ.). – URL: https://doi.org/10.21266/2079-4304.2022.239.6-21

6. Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Nonlinear mixed effects model of the dependence of height on tree diameter in larch stands. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyajstva = Proceed-ings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry, 2021, no. 4, pp. 42–56. (In Russ.). – URL: https://doi.org/10.21178/2079–6080.2021.4.42.

7. Dubenok N.N., Lebedev A.V., Kuzmichev V.V. Evaluation of statistical models of tree distribution by diameter in pine crops. Lesohozyajstvennaya informaciya = Forestry information, 2022, no. 1, pp. 50-61. (In Russ.). – URL: https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.1.03.

8. Kireeva K.A., Korobova L.A., Arapov D.V. Development of an artificial neural network for ECG classification. Modelirovanie system i processov = Modeling of systems and processes, 2023, vol. 16, no. 3, pp. 42-54. (In Russ.). – URL: https://doi.org/10.12737/2219-0767-2023-16-3-42-54.

9. Lebedev A.V., Kuzmichev V.V. Taxation indicators of pine stands based on long-term observations. Sibirskij lesnoj zhurnal = Siberian Forest Journal, 2023, no. 2, pp. 3-16. (In Russ.). https://doi.org/10.15372/SJFS20230201

10. Merzlenko MD. Justification of the theory of wave-like growth of coniferous forest crops. Lesnoj vestnik = Forest Bulletin, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 3–9. (In Russ.). https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-2-5-9

11. Sokolov A.I., Kharitonov V.A., Pekkoev A.N., Krivenko T.I. Preservation and growth of pine crops created from planting material with a closed root system in the conditions of Karelia. Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal, 2015, no. 6, pp. 46–56. https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2015.6.46

12. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nilsson S., Buluy Yu.I. Tables and models of the growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia: normative reference materials. Moscow, Rosleschoz Publ. 2008. 886 p.

13. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nilsson S., Buluy Yu.I. System of models of growth and productivity dynamics of Russian forests (tables and models of bioproductivity. Lesnoe hozyajstvo = Forestry, 2004, no. 2, pp. 40–44. (In Russ.).

14. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nilsson S., Buluy YuI. System of models of growth and productivity dynamics of Russian forests (tables of growth progress). Lesnoe hozyajstvo = Forestry, 2003, no. 6, pp. 34–38. (In Russ.).

15. Shutov I.V., Ivanov A.M., Antonov O.I., Vlasov R.V., Sergienko V.G., Belenets Yu.E., Smirnov E.G., Vyrodova S.A., Stepanenko S.M. Pine growth in row crops at given density options and different row spacings and planting pitch. Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo hozyajstva = Works of the St. Petersburg Research Institute of Forestry, 2014, no. 1, pp. 19–29. (In Russ.).

16. Arapov D.V., Kuritsyn V.A., Petrov S.M., Podgornova N.M. Simulation of the rate of dissolution of sucrose crystals. Journal of Food Engineering. 2022. 318: 110887. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110887

17. Elfwing S., Uchibe E., Doya K. Sigmoid-weighted linear units for neural net-work function approximation in reinforcement learning. Neural Networks. 2018. https://doi.org/10.1016/j.neunet.2017.12.012

18. Hinton G.E., Srivastava N., Krizhevsky A., Sutskever I., Salakhutdinov R.R. Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. arXiv:1207.0580v1[cs.NE] 3 Jul 2012. https://doi.org/10.48550/arXiv.1207.0580

19. Kuritsyn V.A., Arapov D.V., Goril'chenko R.L. Optimization of circulation water cooling process in forced-draft towers. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 97–108. https://doi.org/10.1007/s10553-012-0344-1.

DOI: 10.58168/Forestry2025_728-735
УДК 556.16(571.1)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НАРУШЕННОСТИ ЛЕСОВ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ В МАСШТАБАХ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ

Т.А. Буренина[1], И.В. Данилова[2], М.А. Корец[2]

[1]к.б.н., с.н.с. лаборатории техногенных лесных экосистем, [2]к.т.н., с.н.с. лаборатории экофизиологии биогеоценозов криолитозоны;
Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье приведен анализ влияния гарей и вырубок на гидрологический режим рек Нижняя Тунгуска и Ангара по данным ресурса Global Land cover and land use change за 2000-2020 гг. Исследования показали, что лесные пожары в бассейне Нижней Тунгуски не вызывают резких изменений водности рек при условии, если площадь свежих гарей составляет менее 4% от площади водосбора. Для притоков реки Ангара показано, что на водосборах рек с площадью более 10 тыс.км² вырубки до 2% от площади водосборов не вызывают резких флуктуаций стока, тогда как для реки с площадью около 4 тыс. км² такие вырубки могут повлиять на гидрологический режим.

Ключевые слова: вырубки, гари, лесовосстановление, сукцессии растительного покрова, гидрологический режим рек, водосбор, Нижняя Тунгуска, Приангарье.

USING REMOTE SENSING AND GIS TECHNOLOGIES TO ASSESS THE IMPACT OF FOREST DISTURBANCE ON THE HYDROLOGICAL REGIME AT THE SCALE OF WATERSHED BASINS

T. A. Burenina[1], I.V Danilova[2], M.A. Korets[2]

*[1]Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Tekhnogenety Forest Ecosystems, [2]Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Ecophysiology of Laboratory of Ecophysiology of Permafrost Systems;
Associate Professor of the Department of Ecology,
Sukachev Institute of Forest of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation*

Abstract. This article analyzes the impact of fires and cutting on the hydrological regime of the Nizhnyaya Tunguska and Angara rivers, based on data from the Global Land Cover and Land Use Change resource for 2000–2020. Research showed that forest fires in the Nizhnyaya Tunguska basin do not cause drastic changes in river flow provided that the area of fresh fires is less than 4% of the catchment area. For tributaries of the Angara River, was showed that in river catchments with an area of over 10,000 square kilometers, cutting of up to 2% of the catchment area does not cause drastic fluctuations in runoff, whereas for a river with an area of approximately 4,000 square kilometers, such cutting can affect the hydrological regime.

© Буренина Т. А., Данилова И. В., Корец М. А., 2025

Keywords: cutting, burnt areas, reforestation, vegetation succession, hydrological regime of rivers, catchment area, Lower Tunguska, Angara region.

Организация системы устойчивого лесопользования с учетом сохранности водных ресурсов является приоритетной задачей как для лесного, так и водного хозяйства. Масштабные нарушения лесного покрова, происходящие в результате промышленных рубок и пожаров, негативно отражаются на изменении структуры водного баланса и в частности речного стока. В Красноярском крае, который вытянут с севера на юг почти на три тысячи километров, представлен весь диапазон ландшафтных зон Сибири, где лесные площади занимают значительную часть территории края. В зависимости от ландшафтных условий леса Красноярского края характеризуются значительным разнообразием. Следует отметить, что зональность природных условий отражается и на факторах, вызывающих нарушенность лесов. В темнохвойных лесах горных районов и в сосново-лиственничных лесах средней и южной тайги основным фактором нарушенности растительного покрова являются промышленные лесозаготовки, к которым в отдельные годы добавляются лесные пожары и вспышки массового размножения насекомых, тогда как в северной тайге этим фактором являются пожары.

Цель исследований заключалась в оценке влияния нарушенности лесов исследуемой территорий на гидрологический режим рек с использованием ресурса Global Forest Change и спутниковых изображений Landsat.

В работе было проанализировано влияние нарушенности лесов на речной сток в бассейнах двух, наиболее крупных притоков Енисея - Нижней Тунгуски и Ангары в пределах Красноярского края. Расчёты динамики площадей территорий, пройденных пожарами, и слоя стока выполнялись, как для всего водосбора Нижней Тунгуски, так и для вложенных водосборов 5 гидропостов (рис. 1): 1) Подволошино, 2) Ербогачен, 3) Тура, 4) Большой порог и 4б) Ерачимо. В бассейне реки Ангара анализ динамики площади нарушенных лесов выполнялся для водосборов четырех притоков Ангары: Карабула, Мура, Иркинеева, Чадобец (рис. 1).

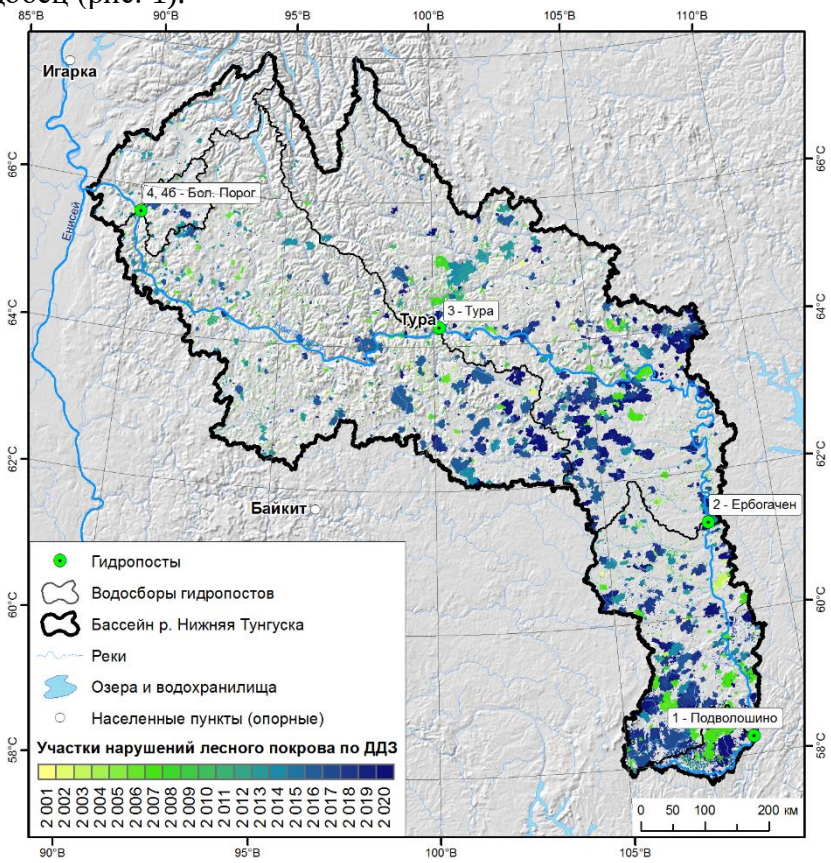


Рис. 1а. Карта-схема бассейна реки Нижняя Тунгуска

Лесной покров в бассейне реки Нижняя Тунгуска довольно однороден, большую часть территории занимают редкостойные лиственничные леса (Laix sibirica и L. gmelinii) и тундры. Несмотря на то, что в данном районе основной лесообразующей породой является лиственница, лиственничные насаждения значительно различаются в зависимости от высоты местности, экспозиции и крутизны склона и прочих локальных условий. Преобладают лиственничники зеленомошной группы типов леса. На дренированных склонах встречаются древостои IV класса бонитета, но в основном представлены насаждения V класса бонитета, часто с зарослями ольхи. На сфагновых болотах и плоских заболоченных участках речных террас произрастают угнетенные древостои с полнотой 0.1. К крутым склонам (с выходом скальных пород) приурочены лиственничники мертво-покровные, характеризующиеся относительно высокой продуктивностью.

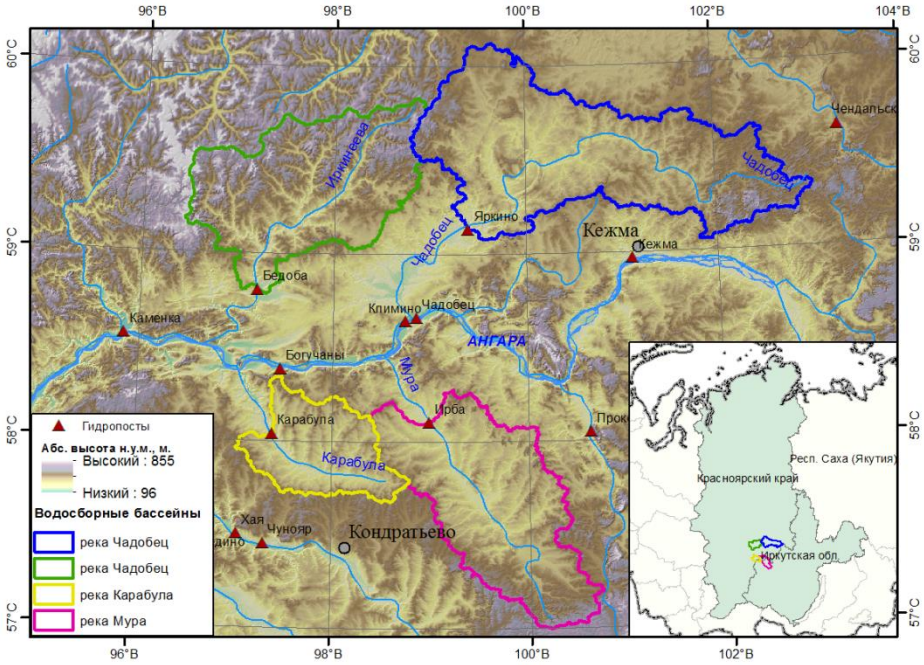


Рис. 2. Карта-схема исследуемых водосборов притоков Ангары

Изучаемая часть бассейна реки Ангара расположена в зоне южной тайги. Растительность в данном регионе представляет собой комплекс различных типов растительных сообществ. Преобладают смешанные сосново-лиственничные насаждения, в которых 42% занимает сосна обыкновенная, а 24% – лиственница. В ряде речных бассейнов встречаются чистые сосновые насаждения. Другие хвойные породы незначительны: насаждения с доминированием ели (Picea obovata), пихты сибирской (Abies sibirica) и кедра сибирского (Pinus sibirica) занимают всего 8%, 4% и 3% соответственно от общей площади. К югу в бассейне реки Тасеева, притока Ангары, увеличивается доля темнохвойных насаждений с доминированием пихты сибирской и кедра сибирского.

Для решения поставленной задачи использовался комплексный подход с привлечением, как традиционных методов, так и новейших технологий. Для исследуемых территорий были использованы многолетние данные по осадкам и температуре воздуха (https://www.krasmeteo.ru/ и www.pogodaiklimat.ru.), по стоку рек, полученные в ФГБУ "Среднесибирское управление гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" и результаты собственных лесоводственных исследований. Динамика площадей нарушенности (гари и вырубки) для тестовых водосборов определялась по данным спутниковой съемки Landsat TM/ETM/OLI с использованием ресурса Global Forest Change [2] за период 2001 – 2020 гг. Границы исследуемых водосборов были определены при помощи функций гидрологического анализа (ESRI

ArcGIS 10 Spatial Analysis) на основе цифровой модели рельефа USGS EROS Archive - Digital Elevation - Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) с дополнительным уточнением по ЦМР ASTER Global Digital Elevation Model V003 (ASTGTM.003).

Пространственно-временная динамика стока в бассейне реки Нижняя Тунгуска с учетом нарушенности лесного покрова пожарами. Анализ изменения лесистости по данным ресурса Global Land cover and land use change 2000-2020 [2] показал уменьшение лесной площади на 1.4% (2000 г. – 59.5% и 2020 г. – 58.1%). На 2022 год нарушенность лесного покрова пожарами в бассейне реки Нижняя Тунгуска составила более 10% от площади водосбора. Основные площади гарей приурочены к юго-восточной (верховья реки) и центральной частям водосбора. В нижнем течении Нижней Тунгуски и на водосборах ее северных притоков, формирующих свой сток в отрогах плато Путорана, лесных площадей, пройденных пожарами, значительно меньше.

Изменение площадей земель, нарушенных пожарами, по тестовым водосборам в бассейне р. Нижняя Тунгуска показано на диаграмме (рис. 3). Как следует из диаграммы до 2015 года масштабное выгорание лесов в регионе происходило с некоторой периодичностью. В рассматриваемый промежуток времени межпожарные интервалы составляли 5 лет. Но с 2015 года леса в бассейне Нижней Тунгуски горят каждый год. Масштабы этих пожаров несопоставимы с площадями гарей после пожаров 2006 и 2007 гг. Площади лесных территорий, нарушенных в результате пожаров в 2016, 2018 и 2020 гг., в 2-2.5 раза больше площади гарей 2007 и в 4-5 раз – площади гарей 2006 года.

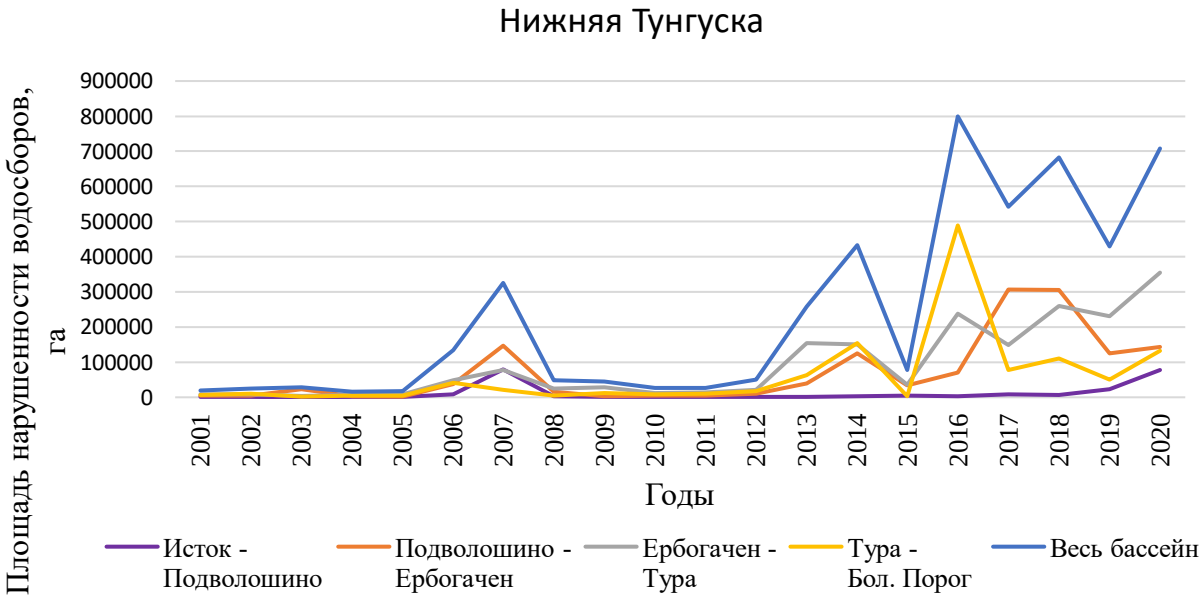


Рис. 3. Динамика площадей гарей в бассейне реки Нижняя Тунгуска с 2001 по 2020 год

Сопоставление динамики стока на реках и изменения площадей гарей на водосборах отражают общую ситуацию, складывающуюся на конкретный период наблюдений. В годы с минимальным стоком, как правило, случаются катастрофические пожары, что предопределяется минимальной величиной осадков в текущий сезон и предыдущие 1-2 года. Но иногда масштабные пожары случаются в годы с годовой суммой осадков, превышающей среднюю многолетнюю величину на 40-50%.

Сравнительный анализ динамики стока и годовой суммы осадков по годам с возникновением площадей, пройденных пожарами, показал, что при площадях свежих гарей менее 4% от площади водосбора, вариабельность показателей речного стока определяется межгодовой изменчивостью осадков. Влияние свежих гарей, если пожаром нарушено от 4 до 10% от площади водосбора, проявляется в снижении стока. Степень уменьшения стока определяется суммой годовых осадков и, особенно осадков теплого периода года. Реакция стока на нарушенность лесного покрова пожарами на тестовых водосборах также зависит от их ландшафтной структуры: в более континентальных районах отклик речного стока на большие площади свежих гарей выражен более заметно.

Для всех тестовых водосборов и бассейна Нижней Тунгуски в целом характерно снижение годового стока с 2000 по 2020 год (рис. 4). При этом следует иметь ввиду, что изменение стока связано с большим числом факторов, из которых климатические являются определяющими. С использованием базы климатических данных и результатов по оценке нарушенности лесного покрова на водосборах было получено уравнение (1) регрессии для стока реки Нижняя Тунгуска на участке исток-фактория Большой Порог.

$$Y= -5.789\ S - 5.147\ Ts + 0.873\ Xg + 0.64\ Xt - 250.5 \quad (1)$$

где, Y – годовой слой стока на водосборе, мм

S – накопленная с 2000 г. площадь нарушений, % от площади водосбора

Ts– средняя температура летнего периода, °C

Xg – суммарные осадки летнего периода, мм

Xt – суммарные осадки зимнего периода, мм.

Коэффициент корреляции R = 0.9, R2 = 0.8; уровень статистической значимости p = 0.0006;

Все коэффициенты значимые по уровню статистической значимости ($p < 0.05$), размер выборки: N = 18

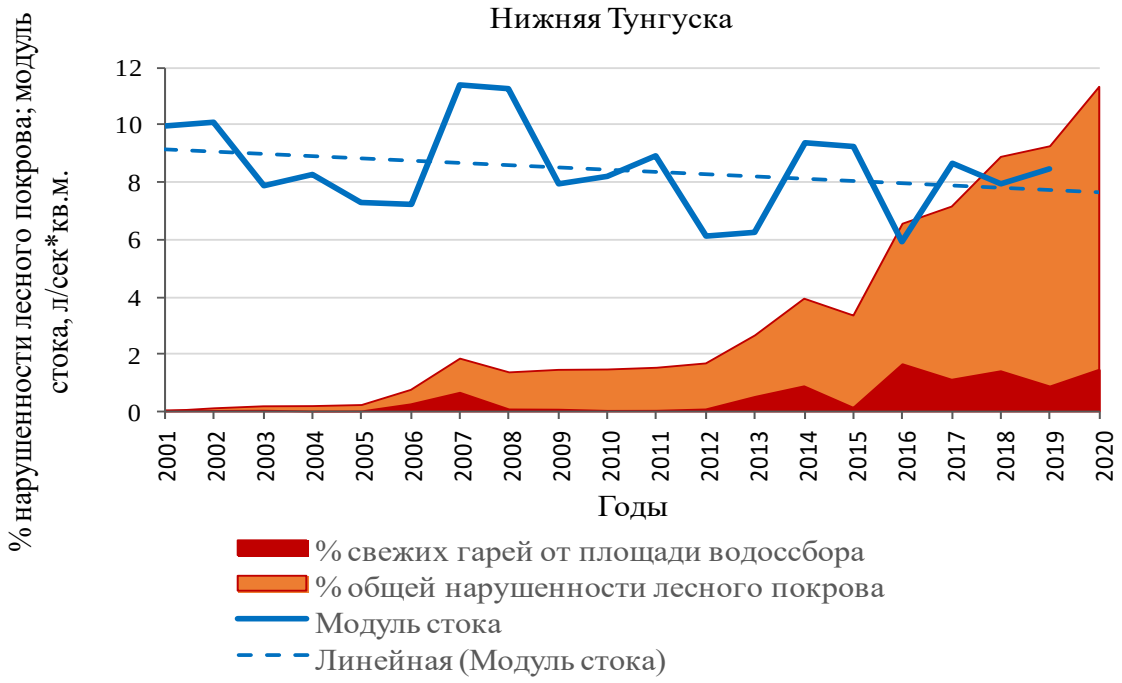


Рис. 4. Тренд стока в бассейне реки Нижняя Тунгуска с учетом общей нарушенности лесного покрова за период 2001-2020 гг.

Как показывает анализ уравнения сток снижается с увеличением площадей, пройденных пожарами и с повышением средней температуры воздуха за теплый период года; атмосферные осадки, как жидкие, так и твердые «работают» на увеличение стока (при этом значимость жидких осадков (p = 0.0001) по данным MODIS значительно выше твердых (p = 0.048), что возможно объясняется аппаратурными и методическими особенностями получения разносезонных данных). При этом следует отметить, что по сравнению с метеорологическими характеристиками показатели нарушенности лесных площадей пожарами, являются менее значимыми факторами. Это можно объяснить тем, что лесные пожары являются нерегулярным (случайным) фактором и, как правило, в бассейне крупных рек гари составляют небольшой % от площади водосбора, покрытых лесом. Возможно, что при формировании стока малых рек площади нарушенных пожарами лесных территорий являются более значимым фактором. Но показать это нам не удалось, т.к. в бассейне реки Нижняя Тунгуска гидропосты находятся только на самой Нижней Тунгуске и на реке Ерачимо. На реках Таймура и Тембенчи посты были закрыты в 1993 году.

Таким образом, как показали наши исследования лесные пожары в бассейне Нижней Тунгуски не вызывают резких изменений водности рек при условии, если площадь свежих гарей составляет менее 4% от площади водосбора. При катастрофических пожарах, если на малых и средних водосборах выгорает до 10% лесной площади, в первые два года можно ожидать повышения стока за счет снижения эвапотранспирации на гарях.

Анализ динамики стока в бассейне реки Ангары с учетом территорий, нарушенных рубками и пожарами.

Как показал анализ динамики стока, на всех реках отмечена общая тенденция снижения стока по мере накопления площадей, нарушенных рубками и пожарами за период 2001-2020 гг. При этом значительного снижения годовой суммы осадков не отмечается, а на отдельных метеостанциях, таких как Карабула (бассейн р. Карабула) и Ирба (бассейн р. Мура) фиксируется незначительный тренд увеличения осадков.

Отмечая общую тенденцию снижения стока с увеличением площади нарушенных лесов, представляет интерес влияние размеров свежих вырубок на характеристики стока. Для всех исследуемых рек можно отметить общие черты: если ежегодные рубки не превышают 2% от площади бассейна, флуктуации речного стока отражают временную динамику годовых осадков. При ежегодных вырубках более 2% от площади бассейна на всех исследуемых реках в той или иной степени проявляется реакция стока на рубки. Следует отметить, что уровень реагирования стока на вырубку леса на разных водосборах проявляется по-разному в зависимости от размера водосбора и величины выпавших осадков в предыдущие годы [1].

В годы, когда осадки превышают средние многолетние значения, вырубки, составляющие 2-3% и более от площади водосбора, приводят к увеличению годового стока на 25-30%. В маловодные годы вырубка леса приводит к снижению стока на 10-20% от нормы стока. Анализ данных показал, что важную роль в оценке влияния нарушенности лесов вырубками играет площадь самого водосбора и какой процент от его площади было пройдено рубками. На реке Иркинеева, площадь водосбора которой в 1.5 раза превышает площади остальных рек, в меньшей степени проявляется влияние свежих вырубок на сток, тем более, что с 2000 до 2011 года в бассейне этой реки не было интенсивных рубок (от 0.2 до 1% от площади водосбора). Колебания стока в эти годы практически определялись межгодовой вариабельностью осадков. И только в годы масштабных рубок в сочетании с пожарами (в 2019 году вследствие рубок и крупных пожаров площадь лесов сократилась почти на 10%) отмечено снижение стока независимо от количества осадков [1].

Более показательным примером влияния размеров вырубок в сопоставлении с площадью самого бассейна является река Карабула, в бассейне которой рубки велись

еще в пятидесятые годы, а после строительства железной ветки Решеты-Карабула все окрестные территории были пройдены масштабными рубками. Использование снимков Landsat 1973-1974 гг. (пространственное разрешение 80 м) для бассейна р. Карабула показало, что площадь свежих и недавних вырубок составила 408 км², т.е. почти 10% от площади водосбора. Последствия таких масштабных рубок отразились на речном стоке – в 1975 году модуль стока был в два раза ниже среднего многолетнего. Но даже в 2017 году, когда площадь вырубок составила около 3% от площади речного бассейна – это отразилось на снижении показателей стока. Модуль стока уменьшился в три раза по сравнению со среднемноголетним значением этого показателя, несмотря на то, что 2017 год характеризовался абсолютным максимумом осадков за наблюдаемый период (рис. 4).

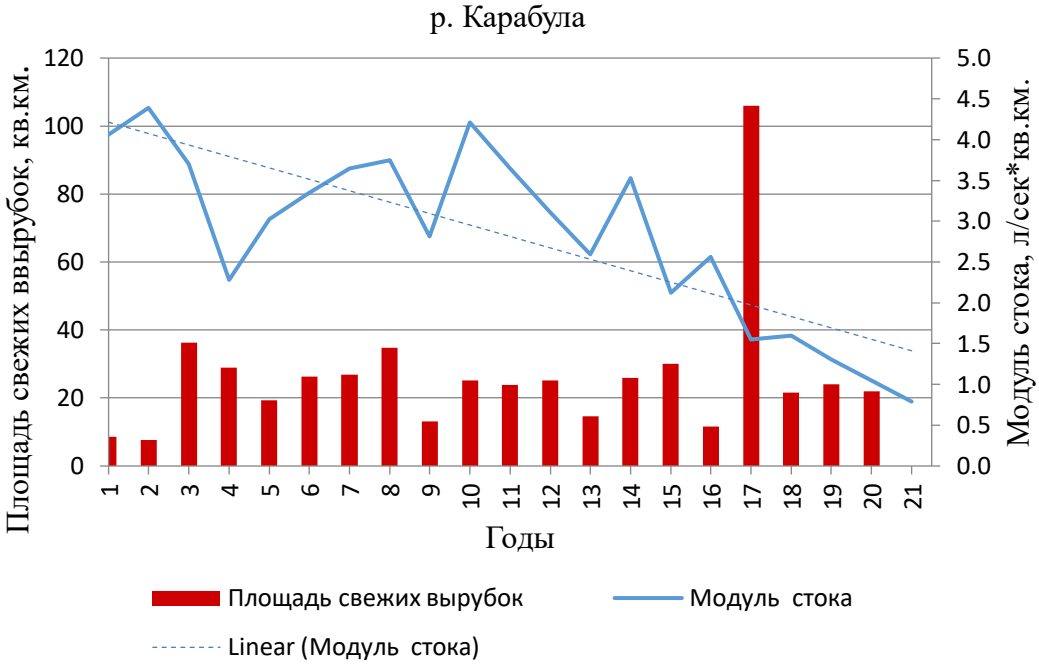


Рис. 5. Реакция стока реки Карабула на нарушенность лесного покрова на водосборе

Для бассейна реки Карабула была построена регрессионная модель зависимости модуля стока от климатических показателей (температура воздуха и атмосферные осадки) и площади нарушенных территорий.

Для определения площади территорий, нарушенных пожарами и рубками, за 2001 год были использованы спутниковые изображения Landsat 7 (пространственное разрешение 30 м). На территорию водосборного бассейна реки Карабула было отобрано два изображения за 2001 год и проведена их неуправляемая классификация методом Isodata. По состоянию на 2001 год площадь нарушенных территорий составила 2000,8 км², не тронутые рубками лесные территории занимали 2023,2 км².

$$M = 9.07 + 0.006 * X_{апр-окт} - 0{,}003 * S_{наруш} - 0{,}020 * S_{год} \quad (2)$$

$$\delta=0{,}51;\ F(3,13)=9{,}6;\ R^2=0{,}62$$

где M - модуль стока, л/(с × м²);
$X_{апр-окт}$ - сумма осадков за апрель-октябрь, мм;
$S_{наруш}$ - площадь нарушенных территорий за предыдущие годы, км²;
$S_{год}$ - площадь нарушенных территорий текущего года, км²;

δ - среднеквадратическое отклонение,

F - критерий Фишера,

R^2 - коэффициент детерминации.

В модели наблюдались значимые коэффициенты корреляции при уровне $p<0.001$

Из анализа уравнения следует, что главным фактором в формировании речного стока являются жидкие атмосферные осадки. Нарушенность лесного покрова "работает" на снижение стока, при этом более значимым фактором будет площадь вырубок текущего года.

Таким образом, анализ динамики стока в связи с изменением вырубок текущего года показал, что влияние вырубки на сток в значительной степени зависит от того, какую долю от площади бассейна занимает свежая лесосека, от характера увлажнения текущего и предыдущего года. Результаты показали, что на водосборах рек Иркинеева и Чадобец (с площадью более 10 тыс.км²) вырубки до 2% от площади водосборов не вызывают резких флуктуаций стока, тогда как для реки Карабула с площадью около 4 тыс. км² такие вырубки могут повлиять на гидрологический режим.

Исследования, связанные с проблемой гидрологических последствий при нарушенности лесного покрова промышленными рубками и пожарами, показывают, что во избежание отрицательных последствий необходим переход к такому ведению хозяйства, при котором в качестве территориально-хозяйственной единицы берется водосборный бассейн. С учетом гидрологической роли лесов следует придерживаться рекомендаций относительно лесистости и пространственного размещения лесов в пределах водосборных бассейнов. При этом региональные и локальные особенности динамики экологических и экономических условий, а также климатические и лесорастительные различия регионов предполагают региональные придержки при ведении лесного хозяйства.

Исследования проведены при поддержке базового проекта ИЛ СО РАН «Динамика компонентов углеродного цикла экосистем Сибири в меняющемся климате» (2024-2026 гг.). FWES-2024-0023.

Список литературы

1. И.В. Данилова, Т.А. Буренина. Динамики стока на водосборах с нарушенным рубками лесным покровом в бассейне реки Ангара // Лесоведение, 2025, №2, с. 237-251.

2. P. Potapov, M. C. Hansen, A. Pickens et al. The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results // Frontiers in Remote Sensing. 2022. DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.

References

1. I.V. Danilova, T.A. Burenina. Dynamics of runoff in watersheds with disturbed logging in the Angara River basin // Forestry, 2025, No. 2, pp. 237-251.

2. P. Potapov, M. S. Hansen, A. Pickens et al. The global dataset on changes in land cover and land use for 2000-2020, obtained from the Landsat archive: First results // Frontiers of Remote Sensing. 2022. DOI: 10.3389/frsen.2022.856903.

DOI: 10.58168/Forestry2025_736-740
УДК 630.57

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ В АРЕНДУ ПОД ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ НЕДР НА ПРИМЕРЕ ЛЕСНОГО УЧАСТКА СТЕРЛИТАМАКСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Е.П. Владимирова, Г.Е. Одинцов

Студент-бакалавр «Экология и природопользование»,
Уфимский Университет Науки и Технологий,
г. Уфа, Россия

Аннотация. Статья анализирует процесс передачи лесных участков в аренду для геологического изучения недр на примере Стерлитамакского района Республики Башкортостан. Рассматриваются нормативные основы, включая Лесной кодекс РФ и Приказ Минприроды № 688. Описаны результаты перечета деревьев и учета подроста на участке площадью 5 га, с данными о породах и объемах вырубки. Подчеркивается баланс экономических интересов и экологических требований, с акцентом на компенсационные меры. Выводы касаются необходимости мониторинга и технологий для минимизации ущерба.

Ключевые слова: лесной участок, аренда, геологическое изучение недр, Стерлитамакский район, Республика Башкортостан, перечет деревьев, вырубка леса, таксация лесосек.

FEATURES OF THE TRANSFER OF FORESTPLOTSFORLEASE FOR THEGEOLOGICALSTUDY OF THE SUBSURFACEON THE EXAMPLE OF A FORESTPLOT IN THE STERLITAMAKDISTRICT OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

E.P. Vladimirova, G.E. Odintsov

Bachelor's Degree in Ecology and nature management ,
Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Abstract. The article examines the process of leasing forest plots for geological exploration of subsoil using the example of the Sterlitamak district in the Republic of Bashkortostan. It covers regulatory frameworks, including the Russian Forest Code and Order of the Ministry of Natural Resources No. 688. The results of tree inventory and undergrowth assessment on a 5-hectare plot are described, with data on species and felling volumes. The balance between economic interests and environmental requirements is emphasized, focusing on compensatory measures. Conclusions highlight the need for monitoring and technologies to minimize damage.

Keywords: forestplot, lease, geologicalexploration of the subsurface, Sterlitamakdistrict, Republic of Bashkortostan, tree harvesting, deforestation, taxation of cutting areas.

Введение.Успешное развитие нефтегазовой отрасли в округе, области и стране зависит от тщательного оформления прав на землю. Этот процесс должен строго соответствовать всем соответствующим правовым нормам и протоколам по охране

© Владимирова Е. П., Одинцов Г. Е., 2025

окружающей среды. Такие протоколы охватывают рекультивацию земель, пострадавших в результате геологических изысканий и деятельности по добыче полезных ископаемых.

Передача лесных участков в аренду представляет собой механизм, позволяющий использовать лесные ресурсы для различных целей, включая геологическое изучение недр. Геологическое изучение недр подразумевает комплекс мероприятий по поиску, разведке и оценке полезных ископаемых, регулируемый Федеральным законом «О недрах» [2]. В России такие процессы подчиняются Лесному кодексу Российской Федерации, где предусмотрено предоставление лесных участков в аренду без ущерба для их защитных функций [1]. Аренда под геологию возможна при условии, что участок не относится к особо охраняемым территориям и что имеется утвержденный проект работ.

Действующее лесное законодательство не в полной мере решает вопросы, связанные с геологическими исследованиями недр, разведкой и добычей полезных ископаемых. В некоторых случаях эти нормативные акты устанавливают нетрадиционные стандарты и ограничения на такую деятельность. Кроме того, некоторые положения лесного законодательства ограничивают или запрещают землепользование, тем самым препятствуя выделению лесных угодий для целей геологоразведки и добычи полезных ископаемых. В настоящее время, текущие усилия направлены на совершенствование существующей правовой базы, чтобы лучше приспособить ее к этим специализированным видам деятельности. Однако крайне важно осознавать экологическую значимость лесов. Леса следует рассматривать не только как экономические ресурсы, но и как основу сложных экосистем, требующих тщательного управления и защиты[5].

Цель исследования– проанализировать особенности аренды лесных участков под геологическое изучение недр.

Объект исследования – лесной участок в Урнякском участковом лесничествеМакаровского лесничества.

Методика исследования. В основу исследований положен метод пробных площадей. Проведен перечет деревьев, предназначенных для вырубки, и учет подроста. Использовались мерные вилки для измерения диаметров, навигатор для определения координат и журнал для фиксации данных. Однако процесс аренды требует не только технических работ, но и соблюдения экологических норм.Таксация лесосек определяется как оценка лесных запасов на отведенном участке, включая подсчет деревьев по породам, ступеням толщины и категориям качества. Нормативной основой служит Приказ Минприроды России от 17.10.2022 № 688 [3]. Такие процедуры обеспечивают минимизацию ущерба.

Результаты исследований.В защитных лесах и на особо защитных участках лесовдействует строгий режим использования. Любая деятельность, не соответствующая целям и функциям этих лесных массивов, запрещена. Ограничения на использование лесов в зависимости от категории их защиты изложены в статьях 112-116 Лесного кодекса Российской Федерации. Возможность геологического изучения недр, разведки и добычи полезных ископаемых в защитных лесах, расположенных на землях лесного фонда, определяется категорией их защиты и видами лесопользования, установленными лесным хозяйством. Кроме того, в соответствии с перечнем объектов, утвержденным распоряжением Правительства РФ от 30.04.2022 № 1084-р, в защитных лесах допускается размещение объектов капитального строительства, не связанных с созданием лесной инфраструктуры.

Эксплуатационные леса служат для рационального и высокоэффективного использования древесных ресурсов и других лесных продуктов, с одновременным сохранением экологических функций леса. В этих лесах разрешены все виды лесопользования, предусмотренные статьей 21, 25 и 117 Лесного кодекса Российской Федерации, в том числе геологоразведочные работы и добыча полезных ископаемых[1].

В соответствии с законодательством Российской Федерации, договор аренды земельного или лесного участка, находящегося в государственной или муниципальной

собственности, может быть заключен без проведения торгов (конкурсов, аукционов) в случае, если участок предоставляется для осуществления работ, связанных с использованием недр, пользователю недр. Данное положение основано на статье 25.1 Закона РФ «О недрах», пункте 20 части 2 статьи 39.6 Земельного кодекса РФ и пункте 1 части 3 статьи 73.1 Лесного кодекса РФ.

Процесс передачи лесных участков в аренду под геологическое изучение недр начинается с подачи заявки арендатором. Согласно Правилам использования лесов для геологического изучения, разведки и добычи полезных ископаемых, утвержденным Постановлением Правительства РФ, аренда возможна на срок до 49 лет, с обязательным проектом освоения лесов [6]. Лесной участок предоставляется по договору, где фиксируются границы, объемы вырубки и меры по рекультивации. В Республике Башкортостан контроль осуществляет Министерство лесного хозяйства [4]. Кроме того, требуется наличие лицензии на пользование недрами и утверждение проекта геологического изучения.

Использование лесных массивов в целях геологического изучения недр, разведки и добычи полезных ископаемых регулируется следующими документами:

- Лесным планом Республики Башкортостан;
- Проектом освоения лесов;
- Лесохозяйственным регламентом лесничества.

Недропользователь обязан неукоснительно выполнять требования проекта освоения лесных участков и утвержденного лесохозяйственного регламента. В его задачу входит обеспечение пожарной безопасности, недопущение загрязнений и иных негативных воздействий на лесную экосистему. Кроме того, он должен осуществлять мероприятия по восстановлению лесов и искусственному лесоразведению.

Исследуемый лесной участок расположен в Стерлитамакском районе в урочище Урнякское (Рис. 1).

Рисунок 1. Границы исследуемого участка

Сам Стерлитамакский район Республики Башкортостан служит примером территории с развитыми лесными ресурсами и активной геологоразведкой. Лесистость района составляет около 5 %, с преобладанием луговых степей и остепненных лугов, где основные породы включают сосну, ель, березу и осину.

Схема представляет собой спутниковый снимок, где красной линией обозначены границы лесного массива неправильной формы, расположенного в открытой травянистой местности, пересекаемой грунтовыми дорогами. Участок имеет удлиненную конфигурацию, ориентировочно 300-400 метров в длину, с преобладанием зеленых полей и полос леса вокруг. Рядом наблюдаются перекрестки дорог и небольшие строения, что указывает на доступность территории для геологических работ.Карта-схема подтверждает расположение в защитных лесах, где вырубка допускается только для геологии. Процедура измерений: диаметр мерной вилкой на 1,3 м высоты, высота визуально или клинометром. Точность: ±1 см для диаметра, ±0,5 м для высоты.

На исследуемом лесном участке был проведен сплошной перечет деревьев в соответствии с Порядком отвода и таксации лесосек [3]. Отвод лесосеки включал обход периметра с фиксацией границ навигатором.

Анализ показал, что исследуемый участок представлен смешанным древостоем и включает осину (ОС), березу (Б), иву (ИВ) и дуб (ДН). В ходе проведения перечета определено,что на исследуемой территории присутствует осина – 16 (преимущественно дровяные стволы), береза – 77 (в основном дровяные), ива – 7, дуб – 1. Общий объем выборки составил 101 дерево. На исследуемой территории были подобраны модельные деревья (таблица 1). Модельные деревья определяют разряды высот для расчета запасов.

Таблица 1 – Характеристика модельных деревьев

Порода	диаметр с округлением до 1 см	высота с округлением до 0,5 м	разряд высот
ОС	20	20	4
ОС	36	23	4
В	16	14	3
В	36	18	3
ИВ	20	14	4
ИВ	40	20	4
ДН	36	20	4

Анализ показал, что исследуемый древностой относится к спелой группе возраста, с полнотой 0,6. Для расчета запаса древесины применяются формулы: объем ствола $\approx (\pi d^2 / 4)\ h\ f$, где d – диаметр, h – высота, f – коэффициент формы (0,4-0,5). Например для ОС с диаметром 36 см и высотой 23 м, объем составил 0,7 м³. Суммарный запас –69,5 м³ на участок.

К категории подроста отнесены молодые деревья до 2 м высоты, классифицируемые как мелкий (до 0,5 м), средний (0,6-1,5 м) и крупный (более 1,5 м) [3].

На 30 площадках по 5 га зафиксировано низкое количество: всего на га – около 40 штук, в пересчете на крупный – 20. Это указывает на недостаточное естественное возобновление.

В Российской Федерации геологическое изучение недр, проводимое в пределах лесных массивов, осуществляется с учётом строгого соблюдения экологических норм. Данные нормы направлены на обеспечение сохранности многочисленных полезных функций лесных экосистем и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Реализация данного подхода достигается за счет комплекса мер, включающих в себя законодательные акты, регламентирующие порядок проведения работ, а также систему контроля за соблюдением установленных требований.

В соответствии с российским законодательством, лица, осуществляющие геологическое изучение недр на лесных территориях, несут административную ответственность за нарушение экологических норм. К числу таких нарушений относятся, в частности, несоблюдение требований к обращению с отходами производства и потребления, а также загрязнение земель химическими и радиоактивными веществами.Экологические аспекты вырубки включают потерю биоразнообразия, деградацию почв и усиление эрозии. Вырубка способствует выделению CO_2, усугубляя климатические изменения. В геологоразведке применяются технологии минимизации, такие как «зеленая сейсмика», сокращающая площадь вырубки. Нормы требуют компенсационных посадок и мониторинга [2]. Однако в ценных лесах геология ограничена.

Заключение.Передача лесных участков в аренду под геологическое изучение недр сочетает экономические интересы с экологическими требованиями. На примере участка в Стерлитамакском районе данные перечета и учета подроста демонстрируют контролируемый подход к вырубке. Общий запас древесины и низкий подрост указывают на необходимость компенсаций.

Выводы подчеркивают приоритет экологии: мониторинг, рекультивация и технологии минимизации ущерба. В будущем целесообразно внедрять дроны для таксации и строгие нормативы. Это обеспечивает устойчивость лесных ресурсов.

Список литературы

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 01.07.2023). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/.

2. Федеральный закон "О недрах" от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 29.12.2022). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/.

3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 17.10.2022 № 688 "Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек". URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402857892/.

4. Закон Республики Башкортостан "О лесах" от 28.12.2007 № 505-з (ред. от 30.06.2023). URL:: https://npa.bashkortostan.ru/document/123456/.

5. Вопросы использования земель лесного фонда при недропользовании. URL: https://nedra21.ru/upload/iblock/a61/roihprlkxft0rdf33j73ootfacfdb2g4/008_011.pdf (дата обращения 23.08.2025)

6. Постановление Правительства РФ от 30.06.2007 № 419 "Об утверждении Правил предоставления лесных участков в аренду" (ред. от 15.12.2022). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_69747/.

References

1. Forest Code of the Russian Federation No. 200-FZ dated 04.12.2006 (as amended on 01.07.2023). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299 /.

2. Federal Law "On Subsurface Resources" dated 02/21/1992 No. 2395-1 (as amended on 12/29/2022). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343 /.

3. Order No. 688 of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated 10/17/2022 "On Approval of the Procedure for Allotment and Taxation of cutting areas". Available by: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402857892 /.

4. The Law of the Republic of Bashkortostan "On Forests" dated 12/28/2007 No. 505-z (as amended on 30.06.2023). URL: https://npa.bashkortostan.ru/document/123456 /.

5. Issues of the use of forest fund lands in subsurface use. – URL: https://nedra21.ru/upload/iblock/a61/roihprlkxft0rdf33j73ootfacfdb2g4/008_011.pdf (date of application 08/23/2025)

6. Decree of the Government of the Russian Federation of 30.06.2007 No. 419 "On Approval of the Rules for the provision of forest plots for lease" (as amended on 12/15/2022). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_69747/.

DOI: 10.58168/Forestry2025_741-749
УДК 630 161

ОСОБЕННОСТИ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ БОЛЬШОГО ХЕХЦИРА

Д.А. Голубев
к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела охраны, защиты леса и лесной экологии, Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства;
доцент высшей школы управления природными ресурсами Политехнического института
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия
К.Е. Гула
к.х.н., старший научный сотрудник отдела охраны, защиты леса и лесной экологии,
Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Г. Хабаровск, Россия
К.А. Колобанов
научный сотрудник отдела охраны, защиты леса и лесной экологии,
Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Г. Хабаровск, Россия
Н.А. Каюмов
техник отдела лесоводства, лесосечных работ,
Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства; студент высшей школы управления природными ресурсами Политехнического института
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия
Н.А. Голубева
младший научный сотрудник отдела охраны, защиты леса и лесной экологии,
Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Г. Хабаровск, Россия

Аннотация.
Большой Хехцир является одним ключевых мест рекреационной деятельности населения города Хабаровска и его окрестностей. Здесь сформированы уникальные экосистемы, в связи с чем значительная часть территории имеет охранный статус. При этом, фактическая вытоптанность дорожно-тропиночной сети вбили одного из основных мест отдыха в Хехцирском заказнике составляет 57%, а нормативная потребность в зонах рекреационного пользования равна 135,4 тыс. га, что в 2,7 раз меньше нынешних показателей.

Ключевые слова: Хехцирский заказник, рекреационная зона, дорожно-тропиночная сеть, зона отдыха, вытоптанность, зеленая зона, лесопарковая зона, лесопарковый зелёный пояс, сопка Змеинка

FEATURES OF RECREATIONAL ACTIVITY IN CONIFEROUS AND BROAD-LEAVED FORESTS OF BOLSHOY KHEKHTSIR

D.A. Golubev
Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher at the Department of Forest Protection and Forest Ecology,
Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk, Russia

© Голубев Д. А., Гула К. Е., Колобанов К. А., Каюмов Н. А., Голубева Н. А., 2025

Associate Professor at the Higher School of Natural Resources Management of the Polytechnic Institute
Pacific National University, Khabarovsk, Russia
K.E. Gula
Candidate of Chemical Sciences,
Senior Researcher at the Department of Forest Protection and Forest Ecology,
Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk, Russia
K.A. Kolobanov
Researcher at the Department of Conservation, Protection of Forests and Forest Ecology,
Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk, Russia
N.A. Kayumov
Technician of the Department of Forestry, logging Operations,
Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk
student of the Higher School of Natural Resources Management at the Polytechnic Institute
Pacific National University, Khabarovsk, Russia
N.A. Golubeva
Junior Researcher at the Department of Forest Protection and Forest Ecology,
Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk, Russia

Abstract. Bolshoy Khekhtsir is one of the key places of recreational activity of the population of Khabarovsk and its surroundings. Unique ecosystems have been formed here, and therefore a significant part of the territory has a protected status. At the same time, the actual trampling of the road and path network of one of the main recreation areas in the Khekhtsir Reserve is 57%, and the regulatory requirement for recreational areas is 135.4 thousand hectares, which is 2.7 times less than the current figures.

Keywords: Khekhtsir nature reserve, recreational area, road and path network, recreation area, trampled, green area, forest park area, forest park green belt, Zmeinka hill

Введение.

Рекреационная деятельность на Дальнем Востоке является одним из перспективных направлений лесопользования и берёт своё начало ещё с середины XIX века [6]. Основной составляющей рекреационного потенциала дальневосточных территорий являются природные компоненты, так как наибольший интерес населения на протяжении более ста лет здесь связан именно с отдыхом на лесных землях.

В лесном законодательстве для рекреационной деятельности выделяются леса расположенные в зелёных зонах, т.е. леса, выделяемые в целях обеспечения защиты населения от воздействия неблагоприятных явлений природного и техногенного происхождения, и лесопарковых зонах, т.е. леса, используемые в целях организации отдыха населения, сохранения санитарно-гигиенической, оздоровительной и эстетической ценности природных ландшафтов [13]. Схожие функции утверждены Статьей 62.1 [15] за лесопарковым зелёным поясом, в который входят леса, водные объекты, их части, природные ландшафты и территории зеленого фонда в границах городских населенных пунктов, прилегающие к указанным лесам.

Вопрос отнесения лесов к рекреационным, является спорным и трудно разрешимым, так как леса любой группы и категории защитности могут быть использованы для отдыха, но с различной степенью интенсивности. Некоторые исследователи считали, что к рекреационным зонам следует относить леса, оборудованные и подготовленные для этих целей. По мнению Конашовой С.И. [10] рекреационные леса следует выделять с учётом природных, экономических и социальных условий региона, потребности населения в

рекреационных ресурсах, наличии необходимого количества зеленых насаждений в расчёте на одного жителя.

Учитывая, что основной задачей зеленых зон и природных парков являются сохранение ландшафтов и создание условий для отдыха и туризма, важно знать ту допустимую рекреационную ёмкость лесных биоценозов, при которой не нарушается экологический баланс среды [11]. Особый уровень рекреационной нагрузки испытывают лесопарки и пригородные леса, где степень воздействия на лесные насаждения нередко значительно превышает пороговые уровни их устойчивости [4].

Неконтролируемая рекреационная деятельность приводит к: механизированному повреждению и уничтожению деревьев, подроста, кустарников, травянистого и мохового покровов; пожарам; селективному уничтожению отдельных видов; вытаптыванию, истощению почвы, нарушению её структуры, эрозии; снижению полноты древостоев, их продуктивности, ухудшению состояния лесовозобновления; захламлению и загрязнению лесов и водоёмов трудноразлагаемыми отбросами и нечистотами; уменьшению других видов рентабельного пользования, в том числе лесозаготовок, сенокошения; нарушению естественного течения природных процессов в заповедных местах (распугиванию диких животных и их истреблению) [2].

Таким образом, целью данного исследования являлось проведение оценки рекреационной деятельности в хвойно-широколиственных лесах Большого Хехцира Хабаровского края.

Объекты и методы исследования.

Исследования проведены на территории Большого Хехцира Хабаровского края (рисунок 1). Объектами исследования явились земли лесного фонда, подвергшиеся влиянию рекреационной деятельности Хехцирского заказника Хехцирского лесничества Хабаровского края.

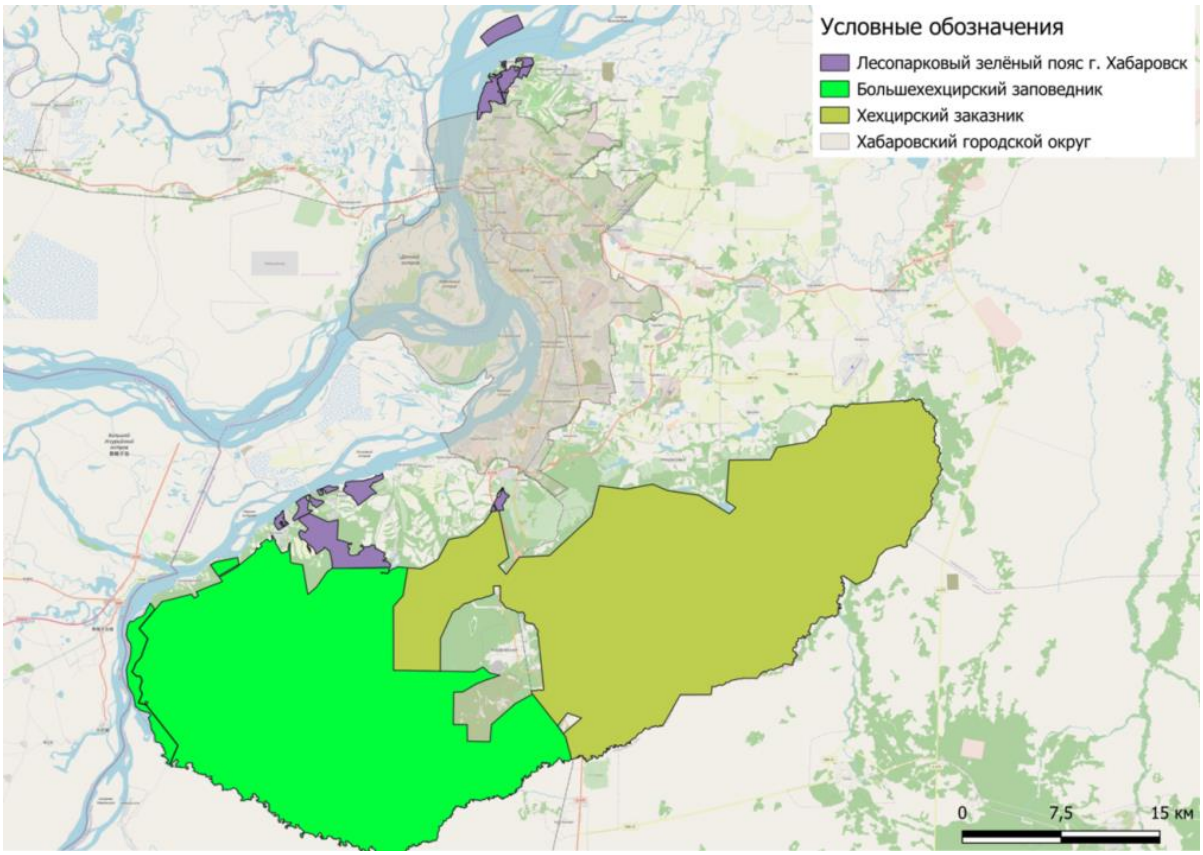


Рисунок 1 – Карта-схема размещения особо охраняемых природных территорий и рекреационных зон на территории Большого Хехцира Хабаровского края [7]

Для оценки рекреационного воздействия туристической деятельности на территории Сопки Змеинка Хехцирского заказника проведены визуальные обследования дорожно-тропиночной сети и зон отдыха.

Дорожно-тропиночная сеть подразделялась по следующим категориям:

I_1 – первого порядка. Главные туристические маршруты, основной характеристикой (особенностью) которых, является ширина – от 3 до 5 метров включительно;

I_2 – второго порядка. Маршруты отходящие/ответвляющиеся от главных, с шириной от 1 до 3 метров;

I_3 – третьего порядка. Узкие (до 1 метра), главным образом пешеходные тропки и тропинки.

Зоны отдыха подразделялись по следующим категориям:

II_1 – первого порядка. Вытоптанность минимальна/отсутствует, травяной покров и подстилка практически не повреждены;

II_2 – второго порядка. Мозаичная вытоптанность/отсутствует, изменение количества и качества травянистой растительности, подстилка слабо повреждена;

II_3 – третьего порядка. Вытоптанность до минерального слоя, подстилка отсутствует, травянистая растительность отсутствует или минимальна и в видоизменённом составе.

Для расчёта рекреационной нагрузки на территорию использовался трансектный метод, по формуле (1):

$$K_B = \sum L_B / \sum L \quad (1)$$

где K_B – коэффициент вытоптанности ходовых линий, ΣL_B – протяжённость вытоптанных до грунта ходовых линий, ΣL – общая сумма длин ходовых линий.

А также был выполнен расчёт коэффициента вытоптанности (площадной) по формуле (2):

$$K_{BS} = (\sum S_L + \sum S_{РЗ})/S \quad (2)$$

где: K_{BS} – коэффициент вытоптанности дорожно-тропиночной сети, ΣS_L – суммарная площадь вытоптанных до грунта ходовых линий, $\Sigma S_{РЗ}$ - суммарная площадь вытоптанных рекреационных зон, S - площадь лесного участка.

Расчет нормативной потребности в зеленых и лесопарковых зонах [16] проведён с использованием ГОСТ 17.5.3.01-78 [8].

Результаты и обсуждение.

Горный хребет Большой Хехцир расположен на 15-20 км южнее города Хабаровска. Для данной природной территории характерен умеренно-континентальный климат с чертами муссонного. Во второй половине лета с юга сюда проникают воздушные массы морского тропического воздуха, почти ежегодно сопровождающиеся тайфунами и ливневыми осадками. Зимой устанавливаются устойчивые холода вследствие поступления континентальных воздушных масс с севера. Самый холодный месяц – январь, среднемесячная температура –21,6 °С. Самый тёплый месяц – июль, среднемесячная температура +21,1 °С. Средняя многолетняя годовая температура воздуха составляет +1,6 °С, средняя многолетняя сумма осадков 605 мм, более 80 % их выпадает в тёплый период года [17]. Тип рельефа низкогорный среднерасчленённый эрозионно-денудационный, с характерными широко распространёнными склонами различной крутизны и достаточно глубоко врезанными долинами небольших водотоков [3].

Основные типы почв – лугово-лесные, буро-таёжные, аллювиально-гумусовые, бурые лесные, горно-лесные. Непосредственно в верхнем поясе гор незначительно распространены лугово-лесные почвы, ниже по склону – горно-таёжные иллювиально-гумусовые оподзоленные почвы; в среднем поясе – бурые горно-лесные оподзоленные почвы; в предгорьях – бурые лесные почвы; на пологих шлейфах склонов – бурые лесные почвы с разной степенью оглеения. На аккумулятивных равнинах, окружающих хребет, хорошо представлены лугово-болотные и болотные почвы на четвертичных древнеозёрных

глинах. На аллювиальных отложениях поймы реки Чирка развиты дерновоаллювиальные оподзоленные и неоподзоленные почвы [17].

В растительном покрове ярко выражена высотная зональность – от равнинных широколиственных и смешанных лесов, а также лиственничников до среднегорных кедрово-широколиственных и пихтово-еловых лесов и парковых высокотравных каменноберёзников на главном водоразделе хребта [9]. Наиболее характерные виды – ель аянская (*Picea ajanensis*), кедр корейский (*Pinus koraiensis*), пихта белокорая (*Abies nephrolepis*), липа амурская (*Tilia amurensis*), дуб монгольский (*Quercus mongolica*), ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica*), берёзы (*Betula*), осина Давида (*Populus davidiana*), спиреи (*Spiraea*), осоки (*Carex*), чубушник тонколистный (*Philadelphus tenuifolius*), василистники (*Thalictrum*) и др. [14]. Такое разнообразие растительного мира и большая расчленённость рельефа способствует богатству животного мира на территории хребта Большой Хехцир. По зоогеографическому районированию Дальнего Востока фауна позвоночных Хехцира относится к маньчжурской, или амурской фауне Уссурийско-Амурской провинции [12]. Согласно современным данным, на Хехцире обитает более 50 видов млекопитающих, наиболее типичными из которых являются амурский тигр (*Panthera tigris altaica*), изюбрь (*Cervus elaphus*), соболь (*Artes zibellina*), гималайский медведь (*Ursus thibetanus*), бурый медведь (*Ursus arctos*), кабан – (*Sus scrofa*) [1].

Однако нельзя не принять во внимание тот факт, что столь близкое соседство горного хребта с населёнными пунктами напрямую влияет на сохранность естественных природных ландшафтов, которые с каждым десятилетием всё более отличаются от своего первоначального состояния [5].

В 2025 году сотрудниками ФБУ «ДальНИИЛХ» была проведена оценка рекреационной деятельности вблизи ключевой туристической локации Хехцирского заказника – Сопки Змеинка (рисунок 2).

Рисунок 2 – Дорожно-тропиночная сеть вбизи Сопки Змеинка Хехцирского заказника Хабаровского края

По результатам натурного обследования нарушенной рекреационной деятельностью территории определены размеры дорожно-тропиночной сети и зон отдыха с учётом вытоптанности до минерального слоя (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Количественная характеристика нарушений в виде дорожно-тропиночной сети в границах Сопки Змеинка Хехцирского заказника

Тропы	Длина троп, м	Из них вытоптано до минерального слоя, м	Ср. ширина, м	Площадь, $м^2$	Площадь вытоптанная, $м^2$
1-го порядка (более 3 м)	155,2	140,1	3,5	543,2	490,4
2-го порядка (1 – 3 м)	1704,8	970	2,45	4176,8	2376,5
3-го порядка (до 1 м)	1150,7	606	0,775	891,8	469,7

Таблица 2 – Количественная характеристика нарушений в виде рекреационных зон в границах Сопки Змеинка Хехцирского заказника

Рекреационные зоны	Периметр, м	Площадь, $м^2$
1-го порядка (полностью вытоптанные)	373,6	2132,2 (100%)
2-го порядка (мозаичная вытоптанность)	62,8	156,2 (50%)
3-го порядка (минимальная вытоптанность)	194,4	634,6 (10%)

На основании полученных данных определен коэффициент вытоптанности дорожно-тропиночной сети в границах Сопки Змеинка Хехцирского заказника:

$$K_P = \frac{(140.1 + 970 + 606)}{(155.2 + 1704.8 + 1150.7)} \cdot 100\% = 57\%$$

Площадной коэффициент вытоптанности относительно всей площади Хехцирского заказника равен:

$$K_{BS} = \frac{\big((490.4 + 2376.5 + 469.7) + (2132.2 + 78.1 + 63.46)\big)}{1780000} \cdot 100\% = 0.32\%$$

Расчёт нормативной потребности в зелёных и лесопарковых зонах вблизи г. Хабаровска и его окрестностей показал, что фактическое количество лесов, расположенных в зеленых зонах составляет 56,3 тыс. га, а нормативная потребность – 135,4 тыс. га. Лесопарковая зона отсутствует и требуется отведение для рекреационной деятельности с учётом фактической численности населения – 15,3 тыс. га.

Выводы.

Таким образом, несмотря на незначительный площадной коэффициент вытаптонности в Хехцирском заказнике, отмечается большой процент вытоптанности дорожно-тропиночной сети. Фактическое количество лесов расположенных в зеленых

и лесопарковых зонах в 2,7 раз меньше нормативной потребности. В связи с чем, из-за нехватки рекреационных зон вблизи города Хабаровска, процент нарушенной территории от туристической деятельности будет увеличиться, что приведёт к росту рекреационной нагрузки. Таким образом, для решения данной проблемы необходимо разработать рекомендации для предотвращения неконтролируемой рекреационной деятельности в лесах Большого Хехцира и провести рекультивационные мероприятия на нарушенных территориях.

Список литературы

1. Андронова Р. С., Долгих А. М., Шайдуров К. В., Готванский А. В. Новые данные по фауне млекопитающих заповедника «Большехехцирский» // Амурский зоологический журнал. 2024. Т. 16, № 1. С. 4-18.
2. Большаков Н. М. Рекреационное лесопользование: монография. Сыктывкар : Сыкт. лесн. ин-т., 2006. 312 с.
3. Бородин А. М., Сыроечковский Е.Е. Заповедники СССР. М : Лесная промышленность, 1983. 248 с.
4. Бунькова Н. П. Рекреационная устойчивость и емкость сосновых насаждений в лесопарках Екатеринбурга: монография. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 124 с.
5. Воронов Б. А., Шлотгауэр С. Д. Оценка состояния особо охраняемых природных территорий Хабаровского края // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2014. № 3. С. 52-59.
6. Гловацкая О. А. Географические основы организации рекреационного лесопользования на Дальнем Востоке : автореф. дис. ... канд. географ. наук. Владивосток, 1998. 24 с.
7. Голубев Д. А., Каюмов Н. А., Колобанов К. А., Гула К. Е., Голубева Н. А. Опыт рекультивации рекреационных зон, расположенных на лесных землях. // Интеллектуальная собственность в инновационном развитии региона : Материалы VIII региональной научно-практической конференции, Хабаровск, 15 мая 2025 года. Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2025. С. 16-19.
8. ГОСТ 17.5.3.01-78. Охрана природы. Земли. Состав и размер зон городов.
9. Колесников Б. П. Очерк растительности Дальнего Востока. Хабаровск : Кн. изд-во, 1955. 104 с.
10. Конашова С. И. Эколого-лесоводственные основы формирования и повышения устойчивости рекреационных лесов: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 36 с.
11. Конашова С. И. Критерии оценки и повышения устойчивости лесов зеленых зон // Лесной вестник. 2002. № 5. С. 22-27.
12. Куренцов А. И. Зоогеография Приамурья. Москва-Ленинград : Наука, 1965. 155 с.
13. Лесной кодекс Российской Федерации : федер. закон Рос. Федерации от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ : принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 8 ноября 2006 г. : одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 24 ноября 2006 г., с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025 // Рос. газ. – 2006.
14. Мельникова А. Б. Флора Хехцира. Хабаровск : ФГБУ «Заповедное Приамурье», 2015. 258 с.
15. Об охране окружающей среды : федер. закон Рос. Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ : принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 20 декабря 2001 г. : одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 26 декабря 2001 г., с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025 // Рос. газ. – 2001.

16. Сапожников А. П., Мельникова Н. Н., Морин В. А., Морина О. М. Нормативные материалы по организации и проектированию рекреационного лесопользования на Дальнем Востоке. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1986. 16 с.

17. Яворская Н. М. Заповедник "Большехехцирский" (краткий очерк) // Биота и среда заповедных территорий. 2020. № 2. С 85-102.

References

1. Andronova R. S., Dolgikh A. M., Shaidurov K. V., Gotvansky A. V. New data on the mammalian fauna of the Bolshekhekhtsirsky Reserve // Amur Zoological Journal. 2024. Vol. 16, No. 1. PP. 4-18.

2. Bolshakov N. M. Recreational forest management: a monograph. Syktyvkar : Syktyvkar Forest in-t., 2006. 312 p.

3. Borodin A. M., Syroechkovsky E. E. Nature reserves of the USSR. Moscow : Forest Industry, 1983. 248 p.

4. Bunkova N. P. Recreational stability and capacity of pine plantations in Yekaterinburg forest parks: monograph. Yekaterinburg : Ural State Forestry Institute. Univ., 2016. 124 p.

5. Voronov B. A., Schlothgauer S. D. Assessment of the state of specially protected natural territories of the Khabarovsk Territory // Bulletin of the Northeastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2014, No. 3, PP. 52-59.

6. Glovatskaya O. A. Geographical foundations of the organization of recreational forest management in the Far East : abstract of the dissertation... Candidate of Geographical Sciences. Vladivostok, 1998. 24 p.

7. Golubev D. A., Kayumov N. A., Kolobanov K. A., Gula K. E., Golubeva N. A. Experience of recultivation of recreational areas located on forest lands. // Intellectual property in the innovative development of the region : Proceedings of the VIII regional scientific and practical conference, Khabarovsk, May 15, 2025. Khabarovsk : Pacific State University, 2025. PP. 16-19.

8. GOST 17.5.3.01-78. Nature conservation. Lands. The composition and size of the city zones.

9. Kolesnikov B. P. An outline of the vegetation of the Far East. Khabarovsk : Publishing house, 1955. 104 p.

10. Konashova S. I. Ecological and forestry foundations of the formation and improvement of the sustainability of recreational forests: abstract of the dissertation ... Doctor of agricultural Sciences. Yekaterinburg, 2000. 36 p.

11. Konashova S. I. Criteria for assessing and increasing the sustainability of forests in green areas // Lesnoy vestnik. 2002. No. 5. PP. 22-27.

12. Kurentsov A. I. Zoogeography of the Amur region. Moscow-Leningrad : Science, 1965. 155 p.

13. Forest Code of the Russian Federation : Federal Law of the Russian Federation No. 200-FZ of December 4, 2006 : adopted by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation on November 8, 2006 : approved by the Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation on November 24, 2006, as amended and supplemented, intro. effective from 09/01/2025 // Russian Journal – 2006.

14. Melnikova A. B. Flora Khekhtsira. Khabarovsk : Federal State Budgetary Institution "Zapovednoe Priamurye", 2015. 258 p.

15. On Environmental Protection : Federal Law of the Russian Federation No. 7-FZ of January 10, 2002 : adopted by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation on December 20, 2001 : approved by the Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation on December 26, 2001, with amendments and additions, intro. effective from 03/01/2025 // Russian Journal – 2001.

16. Sapozhnikov A. P., Melnikova N. N., Morin V. A., Morina O. M. Regulatory materials on the organization and design of recreational forest management in the Far East. Khabarovsk : DalnIILKH Publ., 1986. 16 p.

17. Yavorskaya N. M. Bolshekhekhtsirsky Nature Reserve (a short essay) // Biota and environment of protected areas. 2020. No. 2. PP. 85-102.

DOI: 10.58168/Forestry2025_750-755
УДК 004.8:528.8:630 5

ПРИМЕНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ РАЗНОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Д.Д. Гонтарова
Магистр,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

Аннотация.
Работа направлена на определение возможности использования потребительского искусственного интеллекта (нейросетей), например ChatGPTи Deepseek для ускоренного анализа данных различного формата. Интересующие нас данные — это спутниковые фотографии местности и текстовые документы. Способность таких искусственных интеллектов анализировать тексты вопросов не вызывает, ни одна домашняя работа была написана с их помощью. Результат анализа фотографий местности этими нейросетями оказался ожидаемо неудовлетворительным.

Ключевые слова: анализ спутниковых снимков, нейросети, искусственный интеллект, лесной покров, автоматизация.

USING CONSUMER ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DETECT FOREST COVER CHANGES USING MULTI-TEMPORAL SATELLITE IMAGERY

D.S. Gontarova
Master's degree student,
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract.
This work aims to determine the feasibility of using consumer artificial intelligence (neural networks), such as ChatGPT and Deepseek, for accelerated analysis of data in various formats. The data of interest are satellite images of terrain and text documents. The ability of such artificial intelligence systems to analyze text is unquestionable; not a single homework assignment has been written using them. The results of analyzing terrain images using these neural networks were, as expected, unsatisfactory.

Keywords: satellite imagery analysis, neural networks, artificial intelligence, forest cover, automation.

Среди проблем экологии и экономики отметим нелегальные рубки, снижение плотности лесного покрова и увеличение фрагментации лесного покрова.

Для решения вышеописанных проблем важно не только их признавать, но и уметь предвидеть. В современном мире достаточно инструментов для экономически выгодного анализа больших данных.

Цель исследования – продемонстрировать, как с помощью простых и доступных инструментов можно провести анализ сельской местности региона, своевременно обнаружить незаконное вмешательство и предотвратить серьезные проблемы для регионов.

В современном мире объем данных, генерируемых ежедневно, стремительно растет, что создает новые вызовы. Сопоставление больших данных различного формата – не простая задача для человека, однако современные технологии в виде языковых моделей позволяют несколько обойти данную проблему стороной. Языковая модель — это

© Гонтарова Д. Д., 2025

алгоритм, который обучается на больших объемах текстовых данных для распознавания и генерации человеческого языка. Она использует статистические методы и машинное обучение, чтобы предсказывать вероятность появления слова или последовательности слов в контексте [1]. Современные языковые модели, такие как ChatGPT и Deepseek, используют архитектуру трансформеров, что позволяет им эффективно обрабатывать контекст и учитывать долгосрочные зависимости в тексте [2]. Эти модели, в последних своих версиях способны не только анализировать текст, но и другие медиаформаты, такие как видео и фото. Обычно для анализа снимков используют специализированные нейронные сети [3], однако постараемся использовать самые доступные.

За основу анализа данных взяты открытые спутниковые снимки с Google Earth. Для предоставления спутниковых снимков в сервисе Google Earth используется спутники Landsat и Copernicus (принадлежащие NASA). Снимки Воронежской области представлены за период 2000-2025 годы с частотой раз в 5 лет. Эти снимки бесплатны и имеют удовлетворительную детализацию.

Выбранные параметры:

- высота камеры над уровнем моря – 48 км;
- расположение местности 51 градус северной широты и 41-42 градус восточной долготы;
- летнее время года, чтобы облачность и снег не помешали анализу.

Ставим задачу с помощью языковой модели: использование снимков одной и той же местности в разные года в летнее время года для сравнения изменения местности и нахождения причины этих изменений. Дополнительная задача: поиск зон, которые незамедлительно требуют вмешательства человека.

Перед загрузкой снимков из открытых источников важно правильно задать описание задачи для искусственного интеллекта, то есть сформулировать промт. Промт направлен не только на анализ снимков местности, но и на формулирование рекомендаций по предотвращению будущих рисков на основе ограниченных вводных данных. Преимущество искусственного интеллекта (далее – ИИ) в том, что ему можно передавать данные с различных открытых источников и он сможет давать общие ответы, но быстро.

Например, промт для анализа снимков Воронежской области можно записать так:

«Задача: Проведи сравнительный визуальный анализ предоставленных спутниковых снимков одной и той же территории за разные годы. Цель - выявить и описать изменения лесного покрова, характерные для рубок.

1. Исходные данные:

Я предоставлю тебе спутниковые снимки (в формате .jp2, .tif, .png или .jpg) для территории лесного массива за следующие годы: 2000, 2005, 2010, 2020, 2025.

2. Требуемый анализ:

Визуальное дешифрирование: Сравни снимки попарно (например, 2015 vs 2020, 2020 vs 2025).

Выявление изменений: Найди и выдели на картах участки, где:

- *Исчез сплошной лесной покров;*
- *Появились линейные объекты (лесовозные дороги, усы);*
- *Появились участки с ярко выраженной геометрической формой (прямоугольные, линейные делянки);*
- *Изменилась текстура поверхности (исчезла "зернистость" крон деревьев, появились открытые площади.*

Описание динамики: Опиши, как менялась ситуация — были ли изменения точечными или массовыми, в какой период они наиболее интенсивны.

3. Анализ рисков и их предупреждение:

Выяви возможные ошибки интерпретации: Составь список, что можно спутать с рубкой (например, гари, ветровалы, сезонные изменения, сельскохозяйственные угодья).

Предложи методы проверки: Напиши, как отличить вырубку от других явлений

(например, по цвету почвы, наличию пней и техники на снимках высокого разрешения, по форме контура).

4. Фиксация текущего состояния:

Составь краткий отчет: Включи в него описание выявленных изменений, их динамику и картографические материалы. Этот отчет станет основной для моей статьи.»

Снимки, предоставленные ИИ можно увидеть на рисунках 1-6.

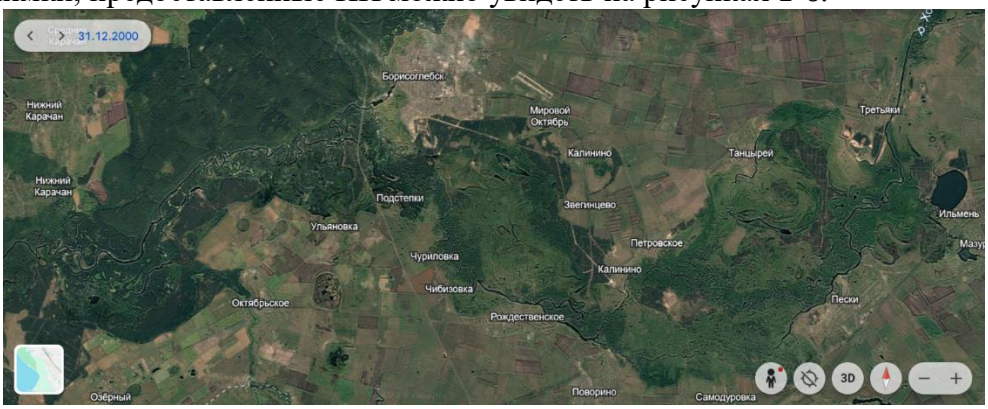


Рисунок 1 - Лесной покров участка в 2000 года [4].

Рисунок 2 - Лесной покров участка в 2005 года [4].

Рисунок 3 - Лесной покров участка в 2010 года [4].

Рисунок 4 - Лесной покров участка в 2015 года [4].

Рисунок 5 - Лесной покров участка в 2020 года [4].

Рисунок 6 - Лесной покров участка в 2025 года [4].

Результаты анализа, составленные языковой моделью Deepseek [5]:

«1. Визуальное дешифрирование изменений.

Период 2000-2005: Начало активного освоения:

– Наиболее интенсивное сокращение лесных массивов - особенно в центральной части территории;

– Образование новых дорожных сетей между населенными пунктами;

– Фрагментация лесного покрова - нарушение целостности крупных лесных массивов.

Период 2005-2010: Стабилизация:

– Замедление темпов сокращения леса;

– Лесные массивы сохраняют относительную стабильность.

Период 2010-2015: Локальные изменения:

– Появление новых пунктов на периферии;

– Усиление фрагментации в ранее стабильных зонах;

– Развитие инфраструктуры вокруг основных кластеров.

Период 2015-2020: Максимальная фрагментация:

- Наибольшая раздробленность лесного покрова;
- Лесные массивы разделены на мелкие изолированные участки;
- Нарушены экологические коридоры для миграции животных.

Период 2020-2025: Упорядочивание и укрупнение:

- Интенсивное освоение территорий вокруг укрупненных центров;
- Сохранение тенденции к сокращению лесных массивов.

2. Выявленные изменения лесного покрова.

Участки с полным исчезновением леса:

- Центральная часть между кластерами "Борисоглебска" и "Мировой Октябрь";
- Зона вокруг "Озёрный" (период 2015-2020);
- Территории между "Третьяки" и другими кластерами.

Линейные объекты (лесовозные дороги):

- Появление сетей дорог между всеми основными кластерами.

Участки с геометрической формой:

- Четкие прямоугольные зоны вокруг "Калинино";
- Линейные делянки в районе "Пески".

3. Динамика изменений.

2000-2005: [redacted] (максимальная интенсивность)
2005-2010: [redacted] (низкая интенсивность)
2010-2015: [redacted] (средняя интенсивность)
2015-2020: [redacted] (высокая интенсивность)
2020-2025: [redacted] (средняя интенсивность)

4. Анализ рисков и их предупреждение.

Возможные ошибки интерпретации:

1. Сельхозугодья - можно спутать с вырубками;
   Отличие: правильная геометрическая форма, сезонные изменения
2. Гари после пожаров
   Отличие: неправильная форма, отсутствие дорожной сети
3. Ветровалы
   Отличие: хаотичный рисунок, отсутствие инфраструктуры

Методы проверки:

- Анализ многолетней динамики (рубки имеют стадийность);
- Сравнение с картами лесоустройства;
- Проверка наличия лесовозной инфраструктуры;
- Анализ сезонности изменений.

5. Текущее состояние (2025 год).

Наиболее проблемные зоны:

- Полная фрагментация лесного покрова;
- Отсутствие сплошных лесных массивов;
- Нарушение экологических связей;
- Высокая антропогенная нагрузка.

Рекомендации для мониторинга:

- Установить постоянное наблюдение за зонами между кластерами;
- Разработать меры по восстановлению экологических коридоров;
- Внедрить систему оперативного обнаружения новых рубок.

ВЫВОД: Территория подверглась значительной трансформации лесного покрова с ярко выраженной тенденцией к фрагментации и сокращению площадей. Наиболее критическая ситуация сложилась к 2020 году, с некоторым улучшением к 2025 за счет укрупнения населенных пунктов.»

Результаты работы искусственного интеллекта соответствуют нашим ожиданиям и предоставляют обширные, хотя и общие, сведения. Благодаря анализу спутниковых снимков мы можем наблюдать изменения не только лесного покрова Воронежской области, но и миграцию населения в более крупные населенные пункты. Тем не менее, использование потребительского искусственного интеллекта для анализа изменений лесного покрова может быть ограничено в плане глубины получаемой информации. Для получения более детальной информации необходимо применять специализированные нейронные сети.

Список литературы

1. Ashish Vaswani, Noam Shazeer / Attention Is All You Need // 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017), Long Beach, CA, USA

2. Isaac Caswell, Bowen Liang / Recent Advances in Google Translate // Google Research June 8, 2020.

3. Писарев А.Е., Семенюк О.И. / Определение вероятности проведения ядерных испытаний с примененим нейронных сетей // Актуальные вопросы эксплуатации систем охранного мониторинга и защищенных телекоммуникационных систем. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции адъюнктов, курсантов и слушателей. Воронеж, 2023. С. 397-398.

4. Google Earth. URL: https://earth.google.com/web/@51.31039722,42.14922149,137.12083673a,47426.68764185d,35y,357.77923466h,0.26896084t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0I_____ARAA (дата обращения 10.09.2025).

5. Deepseek. URL: https://www.deepseek.com/en (дата обращения 10.09.2025).

References

1. Ashish Vaswani, Noam Shazeer / Attention Is All You Need // 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017), Long Beach, CA, USA

2. Isaac Caswell, Bowen Liang / Recent Advances in Google Translate // Google Research June 8, 2020.

3. Pisarev A.E., Semenyuk O.I. / Determining the Probability of Conducting Nuclear Tests Using Neural Networks // Current Issues in the Operation of Security Monitoring Systems and Protected Telecommunication Systems. Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Adjuncts, Cadets, and Students. Voronezh, 2023. Pp. 397-398.

4. Google Earth. URL: https://earth.google.com/web/@51.31039722,42.14922149,137.12083673a,47426.68764185d,35y,357.77923466h,0.26896084t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASg0I_____ARAA (accessed 10.09.2025).

5. Deepseek. URL: https://www.deepseek.com/en (accessed 10.09.2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_756-761
УДК 581.54

О ВЫСОТНОМ ГРАДИЕНТЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ КЛИМАТА И ЕГО ОТРАЖЕНИИ НА СОСТАВЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ВОЗВЫШЕННОСТЯХ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Ю.П. Горичев
к.б.н., зам. директора по научной работе,
Южно-Уральский государственный природный заповедник
д. Реветь, Белорецкий район, Республика Башкортостан

Аннотация. Область распространения широколиственных лесов охватывает значительную часть Русской равнины. Состав древостоя широколиственных насаждений во многом определяют параметры континентальности климата на конкретных территориях. В направлении с запада на восток в соответствии с градиентом континентальности климата из состава древостоя выпадают поочередно ряд лесообразующих видов - бук лесной, граб обыкновенный, ясень обыкновенный. Подобные изменения в составе древостоя также наблюдаются на возвышенностях с увеличением высоты местности. При этом верхние позиции на высотном профиле занимают насаждения с участием более западных видов, характеризующихся пониженной толерантностью в отношении континентальности климата. Подобную закономерность высотного распределения формаций широколиственных лесов можно объяснить проявлением высотного градиента континентальности климата.

Ключевые слова: широколиственные леса, состав древостоя, высотный градиент континентальности климата, Русская равнина, возвышенность

ON THE ALTITUDINAL GRADIENT OF THE CONTINENTAL CLIMATE AND ITS EFFECT ON THE COMPOSITION OF BROAD-LEAVED PLANTATIONS ON THE HILLS OF THE RUSSIAN PLAIN

Y.P. Gorichev
Candidate of Biological Sciences, Deputy Director of Scientific Work
South Ural State Nature Reserve, Revet village, Beloretsky district, Republic of Bashkortostan

Abstract. The area of broad-leaved forests covers a significant part of the Russian Plain. The composition of the broad-leaved forests is largely determined by the parameters of the continental climate in specific areas. As the climate becomes more continental from west to east, a number of forest-forming species, such as the European beech, the common hornbeam, and the common ash, gradually disappear from the forest composition. Similar changes in the forest composition can also be observed at higher elevations. At the same time, the upper positions on the altitude profile are occupied by plantations with the participation of more western species, characterized by reduced tolerance in relation to the continentality of the climate. Such a pattern of the altitude distribution of broad-leaved forest formations can be explained by the manifestation of the altitude gradient of the continentality of the climate.

Keywords: broad-leaved forests, tree composition, altitude gradient of climate continentalization, Russian Plain, upland

© Горичев Ю. П., 2025

Область распространения широколиственных лесов охватывает значительную часть Русской равнины. Наибольшего ценотического разнообразия широколиственные леса достигают на возвышенностях, где представлен наиболее широкий спектр эдафических и мезоклиматических условий. Общеизвестный факт, что состав древостоя широколиственных лесов на пространстве Русской равнины во многом определяет меридиональный градиент континентальности климата. С усилением континентальности климата в восточном направлении из состава древостоя выпадают поочередно лесообразователи широколиственных лесов бук лесной, граб обыкновенный и ясень обыкновенный [4].

Как известно, степень континентальности климата определяют термический режим и режим осадков [10]. По мере усиления континентальности климата увеличиваются амплитуды температур, режим осадков изменяется в сторону уменьшения их количества, а также изменяется их распределение по сезонам года. Степень континентальности климата оценивают различные индексы континентальности (В. Горчинского, С.П. Хромова, Н.Н. Иванова и др.) Общим для индексов является то, что в формулах присутствует годовая амплитуда температур воздуха, являющаяся основной характеристикой континентальности климата [10]. Возрастание годовой амплитуды обусловлено в основном более низкими зимними температурами [10]. На возвышенностях Русской равнины годовая амплитуда температуры составляет: 23^0С - на Подольской (Луцк, Украина), $26{,}5^0$С - на Среднерусской (Тула), 29.5^0С - на Приволжской (Пенза), 34^0С – в Заволжье (Уфа). Рассчитанный по этим амплитудам индекс Горчинского составляет соответственно 30, 36, 42 и 50. На уровне мезоклимата степень континентальности во многом отражает термический режим экотопов и лишь частично - количество осадков.

На ряде возвышенностей Русской равнины отмечено изменение состава древостоя (участия пород) с увеличением высоты местности. Характерно, что верхние позиции на топографических профилях занимают породы с более западным географическими ареалами, соответственно более подверженные негативному воздействию континентального климата. Это в определенной степени указывает на снижение степени континентальности мезоклимата с высотой местности.

Специальные исследования в этом направлении проведены И.П. Пряхиным на Среднерусской возвышенности в Тульских засеках [7, 8]. И.П. Пряхиным на высотном профиле от 135 до 270 м описано высотное распределение 3 насаждений широколиственных лесов с преобладанием в составе древостоя липы сердцелистной, дуба черешчатого и ясеня обыкновенного, занимающих соответственно нижнюю часть профиля (понижения), среднюю часть (склоны водоразделов) и верхнюю часть (плато возвышенных водоразделов). И.П. Пряхиным установлены мезоклиматические параметры экотопов, занятые насаждениями. По данным микроклиматических наблюдений экотопы, занятые ясенниками, характеризуются наиболее мягким мезоклиматом с наименьшими амплитудами температур, повышенной температурой почвы [7]. И.П. Пряхин в числе причин отсутствия ясеня в составе насаждений в понижениях и в нижних частях склонов называет неблагоприятный для его произрастания температурный режим. Он отмечает, что на пониженных местоположениях ясень, клён и ильмовые сильно повреждаются морозами холодных зим, более жёсткие температурные минимумы пониженных местоположений приводят к полному отсутствию в насаждениях клёна остролистного и ильмовых [8]. Результаты наблюдений И.П. Пряхина прокомментированы и дополнены С.Ф. Курнаевым, который объяснял подобное высотное распределение насаждений воздействием температурных инверсий [4]. Основными факторами, определяющими высотное распределение насаждений с доминированием липы, дуба и ясеня по мнению С.Ф. Курнаева, выступают продолжительность безморозного периода, сроки наступления поздних весенних и ранних осенних заморозков. По наблюдениям С.Ф. Курнаева, чувствительный к заморозкам дуб и более чувствительный ясень занимают экотопы, менее подверженные заморозкам: дуб - склоны высоких водоразделов с частой сетью глубоких

оврагов и балок, а ясень - плакоры наиболее возвышенных водоразделов. Липа, не страдающая от заморозков, абсолютно господствует в насаждениях в низинных местах и в нижних частях склонов [4].

С.Ф. Курнаев также отмечает, что формация ясенево-липовых лесов связана в своем распространении с плакорами наиболее возвышенных водоразделов, где ясеню - требовательной породе к климату и почвенному плодородию, благоприятствуют тяжелые по механическому составу и богатые по минеральному составу почвообразующие породы в сочетании с благоприятными условиями мезоклимата (более мягкий термический режим, вследствие оттока холодного воздуха).

Высотное распределение широколиственных насаждений с преобладанием дуба, липы и ясеня можно объяснить действием высотного градиента континентальности климата. Также, как и меридиональный градиент, высотный градиент континентальности обусловлен термическим режимом и режимом осадков (с увеличением высоты количество осадков увеличивается). Высотный градиент на возвышенностях во многом определяется температурными инверсиями. Температурные инверсии отмечены на ряде возвышенностях Русской равнины, в частности, на Среднерусской возвышенности [4, 7] и в Жигулевских горах [6]. Инструментальные наблюдения, проведенные И.П. Пряхиным, показали: в результате инверсий верхние части склонов и вершины высоких водоразделов характеризуются более мягким (менее континентальным) термическим режимом. Нижние части склонов характеризуются более резким контрастным термическим режимом со значительными амлитудами суточных температур, заморозками в течение вегетационного периода, более низкими зимними минимумами. Высотной дифференциации насаждений способствуют эколого-биологических свойства лесообразующих пород, прежде всего их толерантность в отношение контрастности термического режима (и соответственно континентальности) мезоклимата. Индикаторами экотопов с ослабленной континентальностью мезоклимата выступают виды, ареал которых охватывает более западные территории. На Среднерусской возвышенности таким видом является ясень обыкновенный. Участие ясеня в составе древостоя максимально в экотопах с минимальными значениями континентальности мезоклимата. Это верхние части склонов и вершины высоких водоразделов. Толерантные к условиям континентальности дуб и липа преобладают в составе древостоя в экотопах, характеризующихся большей континтальностью мезоклимата - в долинах небольших рек и нижних частях склонов водоразделов.

С.Ф. Курнаев в полосе распространения теневых широколиственных лесов на Среднерусской и Приволжской возвышенностях выделил 3 высотные полосы, образованные 3 лесными формациями: ясенево-липовых лесов, дубово-липовых лесов и липовых лесов. В Заволжье им также выделены 3 высотные полосы: ильмово-кленово-липовых, дубово-липовых и липовых лесов, в западных предгорьях Южного Урала (предгорный район) выделены 2 высотные полосы – липовых и кленово-ильмово-липовых лесов [4] (рис.1).

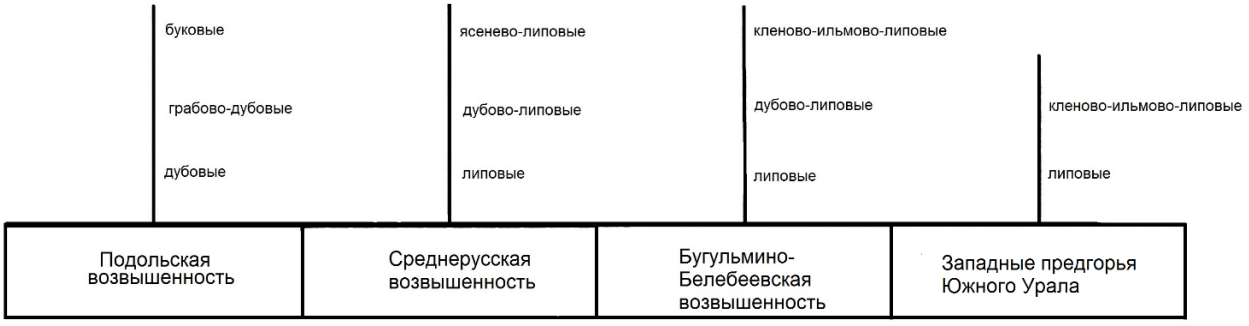


Рис. 1. Высотное распределение лесных формаций на возвышенностях Русской равнины по С.В. Курнаеву [4] и Ю.Р. Шеляг-Сосонко (Подольская возвышенность) [11]

На Приволжской возвышенности, находящейся также в пределах ареала ясеня, высотная дифференциация широколиственных насаждений с преобладанием дуба, липы и ясеня отчетливо не просматривается (специальных исследований в этом направлении не проводилось). В этом видится несколько причин. Одна из них состоит в том, что насаждения с участием и тем более преобладанием ясеня обыкновенного в составе древостоя имеют локальное распространение [1, 2, 5, 12]. Ясень встречается и входит в состав древостоя только в сложных дубравах [1, 2, 12]. Распространение насаждений ясеня, отличающегося требовательностью к почвенному плодородию, на Приволжской возвышенности ограничивает широкое распространение бедных песчаных и супесчаных почв, подстилаемых материнскими породами легкого механического состава [1, 2]. Вероятно, вследствие этого топографические профили, где могут быть представлены все 3 формации широколиственных лесов с преобладанием ясеня, дуба и липы, крайне редки. Отмечается, отсутствие ясеня в пойменных дубравах на реках Сура и Барыш [12]. Высотная дифференциация широколиственных насаждений на Приволжской возвышенности, помимо всего, затушевана широким распространением сосновых лесов и широколиственно-сосновых лесов, исторически более древних на данной территории, чем широколиственные леса [1].

На Подольской возвышенности, расположенной в пределах ареала бука лесного, наблюдается высотное распределение 3 лесных формаций: дубовых, дубово-грабовых и буковых лесов, образующих 3 высотные полосы [11]. Нижнюю полосу образуют дубовые леса из дуба черешчатого - лещиново-снытевые, лещиново-ясменниковые и волосистоосоковые дубравы. Полоса хорошо выражена в южной и юго-восточной частях возвышенности. В западной части возвышенности она проходит на высоте 310-340 м, в восточной части – на высоте 280-310 м, а в южной части - ниже 220 м. Ширина высотной полосы в южной и юго-восточной частях возвышенности составляет 190-110 м, в северо-западной части она сужается до 10-20 м. В ряде районов на участках с расчлененным рельефом наблюдается высотная дифференциация отдельных ассоциаций дубовых лесов. Полоса грабовых и грабово-дубовых лесов с грабом обыкновенным (волосистоосоковые, снытевые, звездчатковые, зеленчуковые и ясменниковые насаждения) проходит выше полосы дубовых лесов до высоты 350 м, в юго-восточной части возвышенности она снижается до высоты 210-240 м. На участках с расчлененным рельефом она имеет среднюю ширину 60-80 м, увеличиваясь расширяясь до 130 м. Полоса буковых лесов (волосистоосоковые насаждения) расположена выше 350 м над ур. м. снижаясь на южных и западных склонах до высоты 290 м и 250 м. Средняя ширина этой полосы составляет 70-100 м с увеличением на северо-запад и уменьшением на юго-запад. Полоса буковых лесов характеризуется повышенной влажностью воздуха и отсутствием резких колебаний температуры. Массивы буковых лесов (как чисто буковые насаждения, так и с примесью граба) распространены по наиболее возвышенным участкам, открытым западным влажным ветрам. В восточной части возвышенности буковые леса встречаются только небольшими островными участками по вершинам наиболее высоких (выше 350 м над ур. м.) холмов, где в среднем выпадает на 100-150 мм осадков больше, чем на средних высотах. Фитоиндикационная оценка экологических условий экотопов, занятых дубовыми, дубово-грабовыми и буковыми насаждениями на основе экологических шкал Д.Н. Цыганова в т. ч. по шкале континентальности климата, показала определенную связь высотного распределения формаций с параметрами континентальности. Просматривается высотный градиент континентальности климата, направленный в сторону уменьшения значения континентальности от полосы дубовых лесов (8,45) к дубово-грабовым (8,26) и буковым лесам (7.91) [9].

На возвышенностях Русской равнины отмечается высотное распределения формаций широколиственных лесов. На топографическом профиле наблюдается определенная смена ряда типов широколиственных насаждений снизу в верх. Верхние позиции обычно занимают формации с более западным (менее континентальным)

географическим ареалом. Характер высотного распределения, как на западе (Подольская возвышенность), так и на востоке (Заволжье), указывает на проявление высотного градиента континентальности климата. Градиент имеет отрицательное значение, т. е. с увеличением высоты местности континентальность климата ослабевает. Высотная дифференциация формаций обусловлена эколого-биологическими свойствами видов, в частности их способностью преодолевать негативное воздействие континентального климата.

Список литературы

1. Благовещенский В.В. Растительность Приволжской возвышенности в связи с ее историей и рациональным использованием. - Ульяновск: УлГУ, 2005. - 715 с.
2. Благовещенский В.В. Ясень обыкновенный на восточной границе своего распространения. - Бюл. МОИП. Отд. биологии. - 1951. - Вып.4. - С.41-49.
3. Гроссет Г. Э. Геоботанический очерк северо-восточной части бывшей Ульяновской губернии. - Бюлл. МОИП, Отд. биологии. - 1932. - Т.41. - Вып. 1-2. - С.125-183.
4. Курнаев С. Ф. Теневые широколиственные леса Русской равнины и Урала. - М.: Наука, 1980. - 312 с.
5. Леонова Н. А., Кулакова Д. А., Артемова С.Н. Растительный покров ландшафтов верхнего плато Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2013. – № 1 (1). – С. 72–81.
6. Прокаев В.И. Термические аномалии в долинах Жигулевских гор // Природа. - 1955. - № 11. - С.89-91.
7. Пряхин И.П. Тульские засеки: естественноисторический очерк и предпосылки к подъему культуры лесоводства в засеках. - М.: Л.: Гослесбумиздат, 1960. - 127 с.
8. Пряхин И.П. Значение физико-географических особенностей территории Тульских засек в закономерном формировании на ней дубравных сообществ в их климатических повреждениях // Вестник Тульского государственного университета. Международн. научн. конференция «Изучение и сохранение биоразнообразия». Тула: ТулГУ, 2023. С.504-515.
9. Скробала В. М. Экологические закономерности распределения лесной растительности Украинского Расточья // Сибирский лесной журнал. - 2020. - № 5. - С. 55–65
10. Хромов С.П. Метеорология и климатология, развитие науки, географические факторы климата. Тепловой режим атмосферы. Индексы континентальности. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 345 с.
11. Шеляг-Сосонко Ю.Р. Широколиственные леса // Растительность европейской части СССР. - Л.: Наука, 1980. - С.143-166.
12. Шустов В.С. Биологическая и фитоценотическая характеристика ясеня обыкновенного на восточной границе его распространения. - Автореферат дис. ... канд. биол. наук. - Москва, 1966. - 24 с.

References

1. Blagoveshchenskiy V.V. Vegetation of the Volga upland in connection with its history and rational use. Ulyanovsk: UlGU, 2005. 715 p.
2. Blagoveshchensky V.V. Common ash on the eastern border of its distribution. - Byul. MOIP. Department of Biology. - 1951. - Vol.4. pp.41-49.
3. Grosset G. E. Geobotanical sketch of the northeastern part of the former Ulyanovsk province. - Buell. MOIP, Department of Biology. - 1932. - Vol.41. - Issue 1-2. - pp.125-183.
4. Kurnaev S. F. The shadow broadleaf forests of the Russian plain and the Urals. - M.: Nauka, 1980. - 312 p.
5. Leonova N. A., Kulakova D. A., Artemova S.N. Vegetation cover of landscapes of the upper plateau of the Volga upland within the Penza region // News of higher educational

institutions. The Volga region. Natural sciences. – 2013. – № 1 (1). – Pp. 72-81.

6. Prokaev V.I. Thermal anomalies in the valleys of the Zhiguli mountains // Nature. 1955. No. 11. pp.89-91.

7. Pryakhin I.P. Tula zaseki: a natural history essay and prerequisites for the rise of forestry culture in zaseki. Moscow: L.: Goslesbumizdat, 1960. 127 p.

8. Pryakhin I.P. The significance of the physical and geographical features of the territory of the Tula settlements in the regular formation of oak communities on it in their climatic damage. // Bulletin of Tula State University. International Scientific Conference "Study and conservation of biodiversity". Tula: TulSU, 2023. pp.504-515.

9. Skrobala V. M. Ecological patterns of distribution of forest vegetation in the Ukrainian wilderness // Siberian Forest Journal, 2020, No. 5, pp. 55-65

10. Khromov S.P. Meteorology and climatology, development of science, geographical climate factors. The thermal regime of the atmosphere. Indexes of continentality. - L.: Hydrometeoizdat, 1978. – 345 p.

11. Shelyag-Sosonko Yu.R. Broadleaf forests // Vegetation of the European part of the USSR. - L.: Nauka, 1980. - pp.143-1166.

12. Shustov V.S. Biological and phytocenotic characteristics of common ash on the eastern border of its distribution. - Abstract of the dissertation of the candidate. biol. sciences. - Moscow, 1966. - 24 p.

DOI: 10.58168/Forestry2025_762-772
УДК 630 86 + 656.1 + 528.9

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ ГИС-АНАЛИЗА

Е.В. Горяева

к.с-х.н., доцент кафедры «Автомобильные дороги и городские сооружения», Сибирский государственный университет, Красноярск, Россия

Аннотация.
Работа посвящена критически важной для Красноярского края проблеме оптимизации транспортной инфраструктуры лесопромышленного комплекса (ЛПК) на основе ГИС-анализа. В работе предлагается методика построения дорожного графа в ГИС-среде, интегрирующая данные о лесных ресурсах, производственных объектах и существующей инфраструктуре. Ключевые этапы методики включают создание геобазы данных, пространственный анализ, построение и верификацию графа, а также моделирование потоков и доступности. Реализация подхода позволит снизить логистические издержки, выявить «узкие места» и обеспечить устойчивое развитие лесного сектора региона за счет обоснованного планирования транспортной сети.

Ключевые слова: лесопромышленный комплекс, транспортная инфраструктура, дорожный граф, транспортной планирование, геоинформационные анализ

DEVELOPMENT OF THE THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE FUNCTIONING OF THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE FORESTRY COMPLEX OF THE KRASNOYARSK REGION BASED ON GIS ANALYSIS

E.V. Goryaeva

Ph.D., Associate Professor of the Department of Roads and Urban Structures, Siberian State University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. This paper addresses the critical issue of optimizing forestry transport infrastructure in the Krasnoyarsk Krai region using GIS analysis. It proposes a method for constructing a road graph in a GIS environment, integrating data on forest resources, production facilities, and existing infrastructure. Key stages of the method include creating a geodatabase, spatial analysis, graph construction and verification, and flow and accessibility modeling. Implementation of this approach will reduce logistics costs, identify bottlenecks, and ensure sustainable development of the region's forestry sector through informed transportation network planning.

Keywords: timber industry, transport infrastructure, network graph, transport planning, geoinformation analysis

Лесопромышленный комплекс (ЛПК) России – один из ключевых секторов экономики, вносящий значительный вклад во **внутренний валовый продукт (**ВВП), экспорт и социально-экономическое развитие регионов. Доля в ВВП составляет 1,5% ВВП

© Горяева Е. В., 2025

страны, в 2023 г. экспорт лесопродукции 3 % от общего экспорта РФБ. В отрасли занято от 500 тыс. до 1 млн. человек[10].

Красноярский край один из крупнейших в стране регионов по запасам лесных ресурсов. Лесозаготовки в крае ведутся порядка 100 лет [2]. По состоянию на 1 января 2022 года общая площадь лесного фонда, составляла 158 750,7 тыс. га, из которых покрыты лесной растительностью 104 827,6 тыс. га. Преобладание хвойных насаждений. Основными из них являются лиственница (41,7%), сосна (12,6%), кедр (9,2%), ель (6,9%) и пихта (5,5%) [9]. Лесная и деревообрабатывающая промышленности являются одними из ведущих отраслей промышленности Красноярского края. Красноярский край обеспечивает порядка 11 % потребности древесины в стране [17]. По данным Россельхознадзора [11] ежегодно объем вывозимой из Красноярского края древесины составляет в среднем 6 млн $м^3$.

В товарной структуре продаваемого древесного сырья преобладают пиломатериалы (более 82%), круглая деловая древесина (10 %), древесина топливная (4 %), столярные изделия (2 %). Все остальные виды лесной продукции занимают в доле экспорта менее 1 %.

Основные страны экспортеры древесины – Китай, Египет, Узбекистан, Казахстан, страны Евросоюза и др., но в период с 2021-22 г., в связи с усилением санкционной политики зарубежных стран, объем экспорта древесины в западные страны снизился. Так в 2019 году древесина поставлялась из Красноярского края в 36 стран, а в 2024 этот список составил 16 стран. Сейчас основной поток лесной продукции отправляется в восточном направлении и основным потребителем древесной продукции Красноярского края является Китай. Основой лесной товарной продукцией, приобретаемой Китаем, является пиломатериалы и круглый лес. Древесные плиты, столярные изделия, погонажные изделия и прочая продукция потребляется на внутреннем рынке России.

Красноярский край занимает площадь 2 366 797 $км^2$ — это 13 % от общей площади России, он граничит с Якутией и Иркутской областью на востоке, с Республикой Тыва и Республикой Хакасия на юге, с Кемеровской, Томской областями, Ханты-Мансийским и Ямало-Ненецким автономными округами на западе. Кроме того, Красноярский край характеризуется большим разнообразием климатических условий, на его территории представлены почти все природно-климатические зоны: от арктических пустынь до типичных степей, что обусловливает специфику пространственной неоднородности распространения лесного покрова и развития всех биологических процессов.

ЛПК Красноярского края находится сейчас в сложной ситуации. Сырьевая направленность отрасли, преобладание в доле товарной продукции круглого леса и пиломатериалов, слабое развитие глубокой переработки, недостаточность мер по обеспечению непрерывности и неситощительности лесопользования. Современная парадигма организации лесопользования, сформированная действующим лесным законодательством, неизбежно приведет к деградации лесного фонда. [12,13].

Переориентация транспортного потока на восточное направление, вызванное санкционной политикой соседних государств, привело к сложной ситуации и выявило несоответствие существующей транспортной сети производственным потребностям ЛПК, пространственного распределения лесного фонда и расположения перерабатывающих предприятий, что приводит к значительным издержкам производства. Проблема эффективного транспортного планирования требует изучения движения транспортных потоков и принятия организационных решений на основе системного подхода.

Цель работы: Разработка теоретической и методической основы для пространственного анализа и оптимизации транспортной инфраструктуры ЛПК Красноярского края с использованием ГИС.

Ключевая гипотеза: Использование методов пространственной локализации в ГИС-среде позволяет построить оптимизационную модель транспортной инфраструктуры ЛПК Красноярского края, которая повысит ее эффективность, снизит логистические издержки и обеспечит устойчивое развитие отрасли.

Методы: Системный анализ, геоинформационный анализ (сетевой анализ, методы оптимизации), геостатистика, картографический метод, пространственный анализ (анализ плотности, наложение слоев).

Основными источниками данных для исследования послужили:

- Лесохозяйственные регламенты лесничеств за 2008 и 2018 годы.
- Данные Министерства лесного хозяйства Красноярского края.
- Научные публикации и диссертационные исследования, посвященные оценке лесных ресурсов и эколого-экономическим аспектам лесопользования.

Отечественный и зарубежный опыт транспортного планирования показывает ограниченность существующих подходов, рассматривающих транспортную систему изолированно, как объект, существующий сам по себе, что в корне не верно [*18*]. Формирование транспортной инфраструктуры зависит от многих особенностей региона социально-экономического, организационно-политического, природно-климатического, технического и культурно-традиционного характера. Создание комплексных ГИС-моделей, интегрирующих данные о лесных ресурсах, инфраструктуре, экономических и экологических и других видов ограничений является ключевым инструментом транспортного планирования для повышения эффективности транспортной системы ЛПК [6,21].

Основу ГИС-модели транспортной инфраструктуры представляет собой дорожный граф. Базовый механизм функционирования дорожного графа основывается на концепции представления транспортной сети в виде ориентированного графа (орографа), отражающего движение лесных ресурсов от места заготовки к потребителю, где вершины (узлы) соответствуют точкам транспортного интереса (например, населенные пункты, транспортные узлы, перекрёстки, мосты), а рёбра (дуги) - участкам транспортных путей, обеспечивающим прямую связь между этими точками.

Для построения дорожных графов используют правила и принципы, изложенные в приказе Министерства экономического развития Российской Федерации [9]. Атрибутивное наполнение транспортной модели прямо коррелирует с уровнем детализации проектирования и типом применяемой модели – макро, мезо- или микроскопической [4]. Чем выше точность и локализованность модели, тем более детализированным и объемным должен быть ее атрибутивный состав, что обусловливает необходимость тщательной предварительной классификации объектов и корректного выбора уровня проектирования в зависимости от целей исследования и задач управления транспортной инфраструктурой.

Рассматриваемый нами объект представляет собой транспортную модель макроуровня. Вершинами графа являются предприятия ЛПК: лесозаготовительные участки, лесные склады, деревоперерабатывающие предприятия, пункты реализации древесины. Ребрами графа – являются реальные объекты транспортной инфраструктуры.

Построение ориентированного дорожного графа может быть реализовано в геоинформационной среде путем создания картографическо-информационной модели транспортной сети для принятия управленческих решений. В данном случае, поставленные задачи решались с применением открытой геоинформационной системы QGIS, которая обладает широкими возможностями полноценной работы с векторными и растровыми слоями, выполнения сетевого анализа, пространственных запросов, построения графов, а также интеграции с внешними источниками данных, включая OpenStreet [20].

Алгоритм пространственного анализа транспортной инфраструктуры:

Создание геоинформационной базы данных.

Поиск, внесение информации в геоинформационную среду – начальный, ответственный и трудоемкий этап моделирования транспортных потоков, так как от полноты и достоверности внесенной в базу информации зависит правильность построенной модели и результатов, получаемых при моделировании вариантов событий. Информационная база должна состоять из набора векторных слоев с необходимой для анализа атрибутивной информацией.

Состав тематических слоев:

Лесные ресурсы: Границы лесничеств, лесозаготовительных участков, кварталов, выделов (атрибутивные данные: породный состав, возраст классов, классы бонитета, объем расчетной лесосеки, объем фактической заготовки и др.).

Транспортная инфраструктура: Дорожная сеть (атрибутивные данные: тип покрытия, пропускная способность, состояние, направление движения, ограничения, пропускная способность, сезонность работы и др.), железные дороги, судоходные реки (Енисей, Ангара и др.), лесовозные усы.

Производственные объекты: лесоперерабатывающие заводы (ЛПЗ), целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК), нижние склады (атрибутивные данные: мощность и виды производимой продукции, потребители).

Экономическая и социальная инфраструктура: Населённые пункты, пункты погрузки (ж/д станции, речные порты, причалы, перевалочные базы), рынки сбыта (атрибутивные данные: грузооборот, объемы потребления).

Ограничения: особо охраняемые природные территории (ООПТ), водоохранные зоны, зоны с особыми условиями использования территорий, рельеф.

Анализ пространственной локализации ресурсов и объектов, выявление характера локализации, кластерный анализ. На этом этапе выявляются особенности сложившейся транспортной инфраструктуры, «узкие места», намечаются критерии оптимизации.

Построение дорожного графа, отражающего транспортную инфраструктуру объекта.

Дорожный граф представляет собой структурированную цифровую модель, предназначенную для описания организации движения транспортных потоков по существующей наземной транспортной инфраструктуре (ж/д пути, автомобильные дороги постоянные и сезонного срока действия, судоходные реки и озера, мосты, паромные и ледовые переправы). Дорожный граф служит базовым каркасом цифровой транспортной модели региона и является связующим звеном между пространственными данными и аналитическими алгоритмами в рамках геоинформационного моделирования.

- Инициализация - формализация топологии транспортной сети. Первичная инициализация происходит на этапе внесения геоинформационных слоев в базу, описывающих транспортную инфраструктуру. Далее необходимо выполнить проверку всех рёбер графа на ошибки топологии и геометрии для корректной работы аналитических инсрументов.

- Упрощение дорожного графа. При построении макроскопических моделей, фокусируются на зонах региона и транспортных путях между ними, а не на дорогах в населенных пунктах, пешеходных путях и велодоражках, которые создают лишний «шум» при статистических расчетах и могут ввести в заблуждение при построении маршрутов. Поэтому следует упростить полученный граф, исключая транспортные пути, которые заведомо невозможно использовать для транспортировки лесных грузов.

- Присвоение атрибутов и стилей узлам и ребрам графа, их корректировка в соответствии с уровнем детализации проектирования.

- Верификация дорожного графа. Верификация модели представляет собой этап, направленный на оценку её адекватности реальным условиям, логике функционирования транспортной системы и поставленным задачам исследования [1].

4. Геоинформационный анализ.

Системное изучение модели (изучение структуры, определение центральности, связности), выявление факторов, влияющих на формирование транспортной инфраструктуры.

Анализ доступности: Расчет зон транспортной доступности от существующих дорог для определения объемов недоступной древесины.

Построение матрицы расстояний: Определение оптимальных направлений грузопотоков от мест заготовки (источник) к перерабатывающим предприятиям или пунктам отгрузки (сток).

Моделирование транспортных потоков: Расчет нагрузки на участки дорожной сети с учетом грузопотока.

Оптимизационное моделирование: Поиск оптимальных маршрутов вывозки, мест строительства новых лесовозных дорог или ремонта существующих с учетом критерия «минимум затрат на транспорт при максимальном освоении ресурса».

Моделирование транспортной сети, реализованное средствами ГИС (рис.1), позволило визуализировать пространственную конфигурацию и структурные взаимосвязи элементов инфраструктуры лесопромышленного комплекса, а также выявить закономерности её территориальной организации.

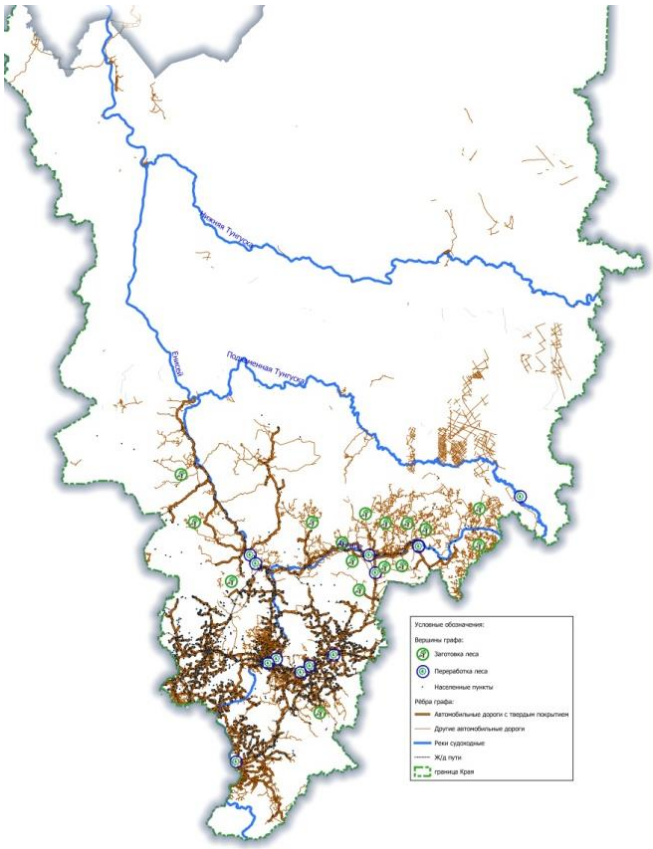


Рисунок 1 – Результат построения дорожного графа

Следует отметить следующие особенности транспортной инфраструктуры ЛПК Красноярского края:

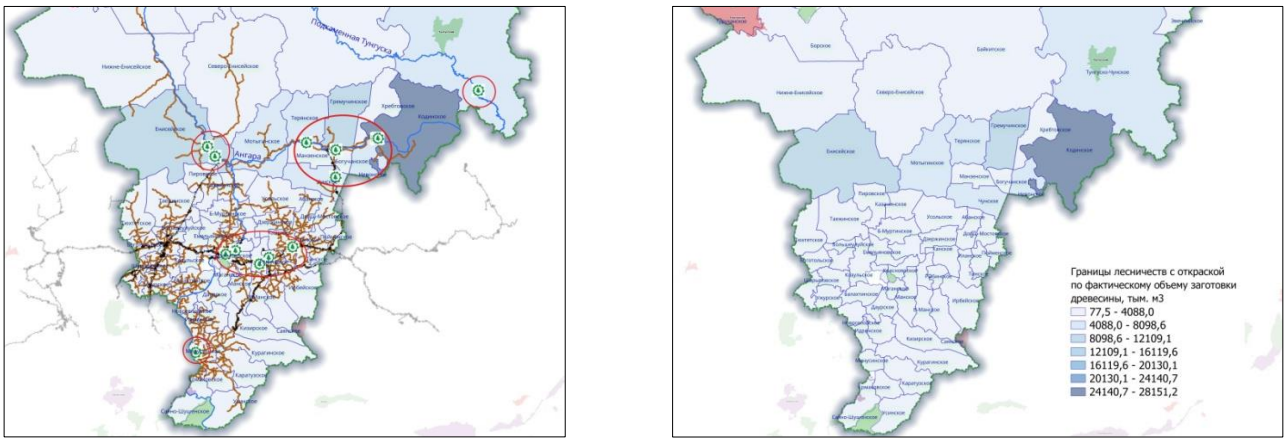
Кластерная концентрация объектов ЛПК.

ЛПК красноярского края характеризуется концентрация производственных объектов в виде лесопромышленных узлов.

На рисунке 2 представлены примеры анализа характера локализации предприятий ЛПК и особенностей пространственного размещения объемов лесозаготовок. Локализация объектов ЛПК (рис. 2а) показывает его пространственную структуру. Можно выделить пять основных кластеров: Ангарский, Чемдальский, Лесосибиский, Красноярский и Минусинский.

Пространственное распределение лесозаготовительных участков (рис. 2б) так же свидетельствует о концентрации объемов заготовки леса. Стиль границ лесничеств в ГИС оформлен с применением классификации по атрибутам в единой цветовой гамме, откраска выполнена по атрибуту «фактический объем лесозаготовок» в лесничестве по данным

лесохозяйственных регламентов, утвержденных в 2018 году. Такой простой прием наглядно показывает, что наибольшая лесозаготовительная нагрузка лежит на лесных массивах Нижнего Приангарья.



а) б)
а) характер концентрации объектов ЛПК;
б) пространственное размещение лесозаготовительных участков
Рисунок 2 – Визуализация анализа пространственной локализации объектов ЛПК

1. Большие расстояния.

Для Красноярского края характерна рассредоточенность лесных ресурсов на огромной площади. Вывозка древесины от лесосеки до потребителя может исчисляться сотнями километров что подтверждается предварительной аналитикой в ГИС средствами инструмента «расстояние до ближайшего концентратора» который показывает и вычисляет расстояние между объектами по воздушной линии (рис. 3).

Доля транспортных расходов в себестоимости продукции может достигать 50-70% для низкодоходных сортиментов (например, балансовой древесины) и пиломатериалов, что критически снижает рентабельность и конкурентоспособность на мировом рынке.

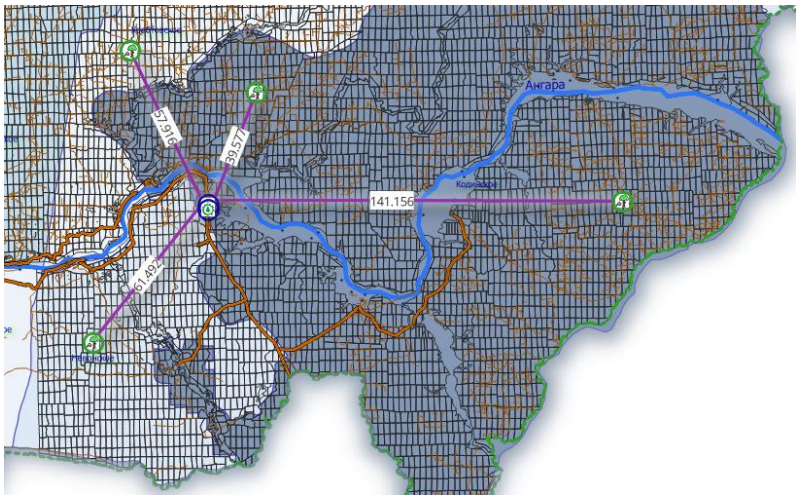


Рисунок 3 – Расстояние от мест заготовки до места переработки древесины, вычисленное инструментом ГИС «расстояние до ближайшего концентратора»

2. Низкое качество дорог и неразвитость дорожной сети.

Существующая дорожная инфраструктура в лесных регионах Красноярского края не соответствует нагрузкам и требованиям современного лесопромышленного производства. Транспортная инфраструктура в районах лесозаготовок характеризуется низкой

плотностью автомобильных дорог с твердым покрытием, высоким износом магистральных дорог, ведущих к перерабатывающим предприятиям и железнодорожным узлам, отсутствием автомобильных дорог к некоторым лесным участкам, в некоторых районах вывозка заготовленной древесины производится по водным транспортным путям.

Расчеты по построенному дорожному графу выявили следующую структуру транспортной сети района с наибольшей лесозаготовительной нагрузкой – Нижнего Приангарья: дороги лесные и сельскохозяйственного - 66 %, дороги низких категорий - 16 %, дороги между населенными пунктами - 12 % дороги вдоль жилой застройки - 5 %, железнодорожные пути - 1 %. Дороги с асфальтобетонным покрытием в районе Нижнего Приангарья составляют - 1 %, дорог с гравийным покрытием - 0,4 %, грунтовых дорог – 57 %, большая часть дорог не имеют покрытия или не обследованы.

3. Сезонность перевозок лесных грузов.

Транспортировка заготовленной лесной продукции в Красноярском крае сильно зависит от времени года. Многие лесные участки, особенно в северных районах, становятся доступными только зимой, когда грунт, реки и болота замерзают и вывозка древесины возможна только по зимним дорогам (зимникам) и ледовым переправам [19]. Период работы зимника составляет несколько месяцев, в течении которых производится заготовки и вывозка леса, что приводит к неравномерной загрузке производства в течение года.[5]. В Красноярском крае в зимний период функционирует 31 автозимник и 30 ледовых переправ. В летнее время функционируют 22 паромных и понтонных переправ через водные объекты [16]. Периодичность действия зимних дорог и переправ так же вносится в качестве атрибутивной информацией при построении дорожного графа и учитывается при планировании оптимальных маршрутов.

Недоступность перспективных лесных участков.

Значительная часть расчетной лесосеки, В Нижнем Приангарье и северных районах края, не осваивается, процент использования расчетной лесосеки варьируется от 20 до 30 %. [14,15]. Освоение ведется концентрированно, вдоль основных транспортных путей, создавая зоны истощенных лесных массивов, в то время как удаленные массивы остаются нетронутыми. Процент использования расчетной лесосеки по лесничествам Красноярского края значительно варьируется от 0,4 до 57 %, в среднем 21 %. При наложении слоев с информацией о наличие транспортной сети, объемах фактической вырубки древесины (откраской) и степени использования расчетной лесосеки (рис.4) складывается ситуация о доступности лесных ресурсов, по каждому лесничеству ситуация индивидуальна.

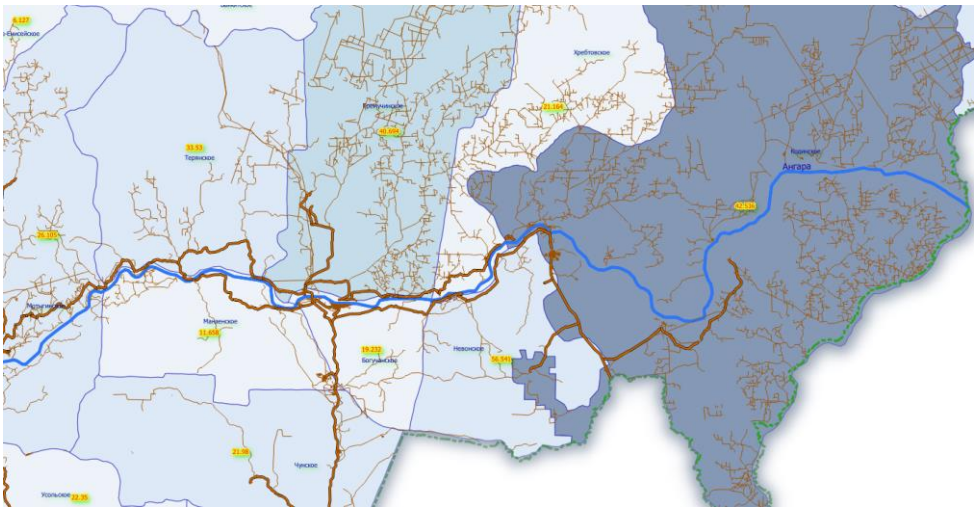


Рисунок 4 - Анализ доступности лесных ресурсов в ГИС

Высокий объем лесозаготовок и процент использования расчетной лесосеки свидетельствует о большой степени лесозаготовительной нагрузки, но ресурсный

потенциал еще не исчерпан. Пример тому – Кодинское, Богучанское, Терянское лесничества, кроме того уже имеющаяся плотная сеть лесных дорог обеспечит дальнейшую разработку лесных ресурсов этого района. Низкий объем лесозаготовок и высокий процент использования расчетной лесосеки свидетельствует об истощении лесных ресурсов, такая ситуация складывается в Невонском и Рыбинском лесничествах. Низкий объем лесозаготовок и низкий процент использования расчетной лесосеки может свидетельствовать о проблемах с освоением ресурсов, экономической, транспортной, или экологической недоступности лесных массивов [8]. Такая ситуация наблюдается в большинстве лесничеств Красноярского края.

Строительство новых дорог в труднодоступные районы требует огромных капиталовложений и имеет длительный срок окупаемости, что непривлекательно для частного бизнеса без государственно-частного партнерства. В Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года указана одна из ключевых проблем: «неразвитость транспортной и энергетической инфраструктуры в регионах с значительным лесным потенциалом». В качестве одного из целевых ориентиров ставится задача обеспечения транспортной доступности лесных ресурсов «за счет строительства и реконструкции лесохозяйственных и лесовозных дорог».[10].

Моделирование транспортной инфраструктуры ЛПК Красноярского края в ГИС позволяет выполнить комплексный анализ функционирования транспортной сети, выявляя особенности и проблемы отросли, является мощным инструментом для повышения эффективности транспортной системы ЛПК и планирования ее дальнейшего развития.

На основе построенной модели планируется создание карты транспортной доступности лесных ресурсов края, выявление «узких мест» и критических участков транспортной сети, обоснование приоритетных направлений развития транспортной инфраструктуры, разработка сценариев развития.

Построение модели продолжается, верификация модели, сетевое планирование, проектирование движения внутрирегиональных транспортных потоков, внесение исходных данных для анализа и расчетов процесс трудоемкий, полнота и достоверность исходных данных, сложность в их получении и внесении в базу данных ГИС – основные задачи дальнейших исследований.

Моделирование транспортной инфраструктуры ЛПК Красноярского края необходимо для превращения стихийного процесса в управляемый, повышения конкурентоспособности продукции за счет снижения расстояний транспортировки и привлечения многомиллиардных инвестиций в один из самых перспективных секторов экономики региона.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Красноярского краевого фонда науки № 25-11-20033, https: //rscf.ru/project/25-11-20033/.

Список литературы

1. Бойков В.Н., Неретин А.А., Скворцов А.В. Апробирование информационных моделей дорог на стадии реализации проектов.//ООО «ИндорСофт». 2015. №2 (5). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/aprobirovanie-informatsionnyh-modeley-dorog-na-stadii-realizatsii-proektov.

2. Бухарова Е. Б., Третьяков А. А., Шишацкий Н. Г. Историко-экономическое исследование механизмов промышленного развития Красноярского краяв годы первых пятилеток (1928-1940 гг.) / Бухарова Е. Б., Третьяков А. А., Шишацкий Н. Г. // Журнал СФУ. Гуманитарные науки. — 2021. — № 8. — С. 1191-1206.

3. Государственные доклады «О состоянии и использовании лесов Российской Федерации» / //Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации: [Официальный сайт]. — URL: https://www.mnr.gov.ru/.

4. Кропотов М. Д., Горяева, Е. В. Анализ методик планирования ремонтных работ / М. Д.Кропотов, Е. В. Горяева // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее:

сборник научных статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2023. — С. 58-61.

5. Мохирев, А. П. Анализ структуры затрат на транспортировку древесины и их сезонной динамики / А. П. Мохирев, М. М. Герасимова, М. О. Позднякова // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10, № 2(38). – С. 123-133. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.2/12. – EDN TMHKQG.

6. Мохирев, А. П. Моделирование структуры лесотранспортных потоков / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2022. – 396 с. – ISBN 978-5-8158-2263-4. – EDN VSFGCW.

7. Об утверждении лесного плана Красноярского края / // Красноярский край. [Официальный портал]. URL: http://www.krskstate.ru/docs/0/doc/54526.

8. Об экономически доступной расчетной лесосеке на арендных территориях ООО "Сибирский лес" в Красноярском крае / В. А. Соколов, Р. Т. Мурзакматов, О. П. Втюрина [и др.] // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2016. – № 3. – С. 214-217.

9. Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 1 октября 2010 г. № 464 / // Гарант.ру. Информационно-правовой портал: [сайт]. — URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/99672/ (дата обращения: 18.09.2025).

10. Распоряжение Правительства Российской Федерации «Об утверждении стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» от 11.02.2021 г. № 312-р. .URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400235155/.

11. Региональные новости / Россельхознадзор // fsvps.gov.ru: [сайт]. — URL: https://fsvps.gov.ru/news/s-nachala-2024-goda-rosselhoznadzor-prokontroliroval-2-mln-kubometrov-vyvozimoj-iz-krasnojarskogo-kraja-lesoprodukcii/.

12. Соколов В. А., Втюрина О. П., Соколова Н. В. О стратегии лесоуправления в России / Соколов В. А., Втюрина О. П., Соколова Н. В. // Сибирский лесной журнал. — 2019. — № 6. — С. 3-9.

13. Соколов В.А., Горяева Е.В., Соколова Н.В. О совершенствовании лесоуправления в России / В. А. Соколов, Е.В. Горяева, Н. В. Соколова // Интерэкспо Гео-Сибирь. - Новосибирск: СГУГИТ, 2020. — Т. 3. — № 2. — С. 24-29.

14. Соколов, В. А., Втюрина, О. П., Соколова, Н. В. Лесные ресурсы Нижнего Приангарья Красноярского края: перспективы и ограничения / В. А. Соколов, О. П. Втюрина, Н. В. Соколова // Интерэкспо Гео-Сибирь. - Новосибирск: СГУГИТ, 2021. — Т.1. — С. 257-262.,

15. Соколов, В. А., Лалетин, А. А., Втюрина, О. П. Оценка древесных ресурсов Красноярского края / В. А. Соколов, А. А. Лалетин, О. П. Втюрина — Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015 - 129 с.

16. Состояние проезда на зимних автомобильных дорогах / // Краевое государственное казённое учреждение "Управление автомобильных дорог по красноярскому краю": [сайт]. — URL: https://krudor.ru/. (дата обращения: 18.09.2025).

17. Шишмарёва А. В., Моисеева Е. Е. Отраслевые особенности устойчивого развития лесопромышленного комплекса Красноярского края / Шишмарёва А. В., Моисеева Е. Е. // Менеджмент социальных и экономических систем. — 2019. — № 2(14). — С. 5-10.

18. Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P., & Grebner, D. L. Forest management and planning / Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P., & Grebner, D. L. — 2-е изд. — Academic Press, 2017 — 362 p.

19. IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE5, Policy, Industry, Science and Education. Сер. "V Pan-Russian Scientific - Technical Conference - Webinar "Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education"" Том 574. 2020.

20. QGIS: официальный сайт – Режим доступа: https://qgis.org/ru/site/.

21. Xing Z, Huang M, Peng D. 2023. Overview of machine learning-based traffic flow prediction. Digital Transportation and Safety 2(3):164−175 DOI: 10.48130/DTS-2023-0013.

References

1. Boykov, V. N., Neretin, A. A., & Skvortsov, A. V. Testing of information models of roads at the stage of project implementation // IndorSoft LLC. 2015. No. 2 (5). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/aprobirovanie-informatsionnyh-modeley-dorog-na-stadii-realizatsii-proektov.

2. Bukharova E. B., Tretyakov A. A., Shishatsky N. G. Historical and economic study of the mechanisms of industrial development of the Krasnoyarsk Territory during the years of the first five-year plans (1928-1940) / Bukharova E. B., Tretyakov A. A., Shishatsky N. G. // Journal of Siberian Federal University. Humanities. — 2021. — No. 8. — P. 1191-1206.

3. State reports "On the state and use of forests of the Russian Federation" / // Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation: [Official website]. — URL: https://www.mnr.gov.ru/.

4. Kropotov M. D., Goryaeva, E. V. Analysis of repair work planning methods / M. D. Kropotov, E. V. Goryaeva // Current issues in construction: a look into the future: collection of scientific articles based on the materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference. Krasnoyarsk, 2023 — P. 58-61.

5. Mokhirev, A. P. Analysis of the structure of wood transportation costs and their seasonal dynamics / A. P. Mokhirev, M. M. Gerasimova, M. O. Pozdnyakova // Forestry journal. – 2020. – Vol. 10, No. 2(38). – P. 123-133. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.2/12. – EDN TMHKQG.

6. Mokhirev, A. P. Modeling the structure of forest transport flows / A. P. Mokhirev, K. P. Rukomoynikov – Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2022. – 396 p. – ISBN 978-5-8158-2263-4. – EDN VSFGCW.

7. On approval of the forest plan of Krasnoyarsk Krai / [Electronic resource] // Krasnoyarsk Krai. [Official portal]. URL: http://www.krskstate.ru/docs/0/doc/54526.

8. On the economically affordable estimated cutting area on the leased territories of Sibirsky Les LLC in Krasnoyarsk Krai / V. A. Sokolov, R. T. Murzakmatov, O. P. Vtyurina [et al.] // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. - 2016. - No. 3. - P. 214-217.

9. Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated October 1, 2010 No. 464 / [Electronic resource] // Garant.ru. Information and legal portal. : [website]. - URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/99672/ (date of access: 09/18/2025).

10. Order of the Government of the Russian Federation "On Approval of the Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030" dated February 11, 2021, No. 312-r. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400235155/.

11. Regional News / Rosselkhoznadzor [Electronic resource] // fsvps.gov.ru: [website]. - URL: https://fsvps.gov.ru/news/s-nachala-2024-goda-rosselhoznadzor-prokontroliroval-2-mln-kubometrov-vyvozimoj-iz-krasnojarskogo-kraja-lesoprodukcii/.

12. Sokolov V. A., Vtyurina O. P., Sokolova N. V. On the strategy of forest management in Russia / Sokolov V. A., Vtyurina O. P., Sokolova N. V. // Siberian Forestry Journal. - 2019. - No. 6. - P. 3-9.

13. Sokolov V. A., Goryaeva E. V., Sokolova N. V. On improving forest management in Russia / V. A. Sokolov, E. V. Goryaeva, N. V. Sokolova // Interexpo Geo-Siberia. - Novosibirsk: SGUGIT, 2020. - Vol. 3. - No. 2. - P. 24-29.

14. Sokolov, V. A., Vtyurina, O. P., Sokolova, N. V. Forest resources of the Lower Angara region of Krasnoyarsk Krai: prospects and limitations / V. A. Sokolov, O. P. Vtyurina, N. V. Sokolova // Interexpo Geo-Siberia. - Novosibirsk: SGUGIT, 2021. - T. 1. - P. 257-262.,

15. Sokolov, V. A., Laletin, A. A., Vtyurina, O. P. Assessment of wood resources of Krasnoyarsk Krai / V. A. Sokolov, A. A. Laletin, O. P. Vtyurina - Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015 - 129 p.

16. Winter Road Conditions / [Electronic Resource] // Krasnoyarsk Krai State Road Administration: [website]. — URL: https://krudor.ru/. (Accessed: 18.09.2025).

17. Shishmareva A. V., Moiseeva E. E. Sectoral Features of Sustainable Development of the Forestry Complex of Krasnoyarsk Krai / Shishmareva A. V., Moiseeva E. E. // Management of Social and Economic Systems. — 2019. — No. 2(14). — P. 5-10.

18. Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P., & Grebner, D. L. Forest management and planning / Bettinger, P., Boston, K., Siry, J. P., & Grebner, D. L. - 2nd ed. -: Academic Press, 2017 - 362 p.

19. IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE5, Policy, Industry, Science and Education. Ser. "V Pan-Russian Scientific - Technical Conference - Webinar "Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education"" Volume 574. 2020.

20. QGIS: official website – Access mode: https://qgis.org/ru/site/.

21. Xing Z, Huang M, Peng D. 2023. Overview of machine learning-based traffic flow prediction. Digital Transportation and Safety 2(3):164−175 DOI: 10.48130/DTS-2023-0013.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Krasnoyarsk Regional Science Foundation No. 25-11-20033, https://rscf.ru/project/25-11-20033/.

DOI: 10.58168/Forestry2025_773-785
УДК 004.9

СИНТЕЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ И КОРРЕКЦИЯ ДИСБАЛАНСА КЛАССОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

А.И. Заревич
к.т.н., доцент базовой кафедры ТиПОВиИС ФКНиТ
Ф.В. Макаренко
к.ф-м.н., доцент базовой кафедры ТиПОВиИС ФКНиТ
А.В. Полуэктов
Заместитель заведующего базовой кафедрой ТиПОВиИС ФКНиТ
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация. В работе предложен ML-фреймворк для классификации лесных пожаров на основе синтеза больших данных. Использованы данные ERA5 Copernicus, исторические данные о пожарах Рослесхоза и геоданные Сибири. Применены пространственно-временная фильтрация и алгоритмы повторной выборки. Модель эффективно выявляет пожары, минимизируя ложные срабатывания, и может быть интегрирована в системы раннего предупреждения для российских лесов.

Ключевые слова: лесной пожар, классификация, машинное обучение, обучение с учителем, набор данных, большие данные, случайный лес, XGBoost, LightGBM, SMOTE, NearMiss, SMOTE-ENN.

SYNTHESIS OF BIG DATA AND CORRECTION OF CLASS IMBALANCE TO IMPROVE THE WILDFIRE CLASSIFICATION MODEL

A.I. Zarevich
Ph.D., Associate Professor of the Basic Department of Technologies and Software of Computing and Information Systems
Ph.V. Makarenko
Ph.D., Associate Professor of the Basic Department of Technologies and Software of Computing and Information Systems
A.V. Poluektov
Deputy Head of the Basic Department of Technologies and Software of Computing and Information Systems
Voronezh State University Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The paper proposes an ML framework for classifying forest fires based on the synthesis of big data. ERA5 Copernicus data, historical data on fires of the Federal Forestry Agency and geodata of Siberia were used. Spatiotemporal filtering and resampling algorithms are applied. The model effectively detects fires, minimizing false alarms, and can be integrated into early warning systems for Russian forests.

Keywords: forest fire, classification, machine learning, teacher training, dataset, big data, random forest, XGBoost, LightGBM, SMOTE, NearMiss, SMOTE-ENN.

© Заревич А. И., Макаренко Ф. В., Полуэктов А. В., 2025

1 ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары в России – одна из самых масштабных и дорогостоящих экологических катастроф. По данным Рослесхоза [1], ежегодно в стране горит более 10 млн га леса, причём в последние годы доля пожаров, вызванных природными причинами, превышает 80 %, а их площадь и интенсивность растут из-за потепления, засух и ухудшения лесоуправления. Особенно уязвимы Сибирь и Дальний Восток, где пожары охватывают миллионы гектаров тайги и нередко угрожают населённым пунктам и инфраструктуре. Традиционные методы прогнозирования, основанные на статистике и экспертных оценках, не справляются с растущей сложностью и нелинейностью процессов [2].

Машинное обучение (ML) предлагает новый подход, основанный на анализе сотен тысяч геопространственных точек, выявлении скрытых паттернов и предсказании рисков возгорания с высокой точностью. Применения ML включают: раннее обнаружение по спутниковым данным, прогнозирование риска на основе метеорологии и экологии, оптимизацию развертывания пожарных подразделений и оценку ущерба [3].

В данной работе представлен ML-фреймворк для классификации пожаров в российских лесах. Источниками данных стали:

- ERA5 от Copernicus – высокодетализированные климатические данные (0,25°×0,25°, ежечасные, 2000–2018 гг.) [4];
- Открытые данные Рослесхоза – геолокации и площади пожаров за 2000–2018 гг. [1];
- Границы регионов – данные Росстата (2021) для Сибири и Дальнего Востока [5];
- Водные объекты – данные Росреестра (2022) для исключения нерелевантных зон [6].

Созданный набор данных содержит 4381020 точек с 27 признаками и дисбалансом классов 156:1. Для его коррекции применены:

1. Пространственно-временная фильтрация – исключение водных объектов, сезонные ограничения (зимние месяцы), фокус на зоны с историческими пожарами;
2. Алгоритмическая перебалансировка – NearMiss3, SMOTE, SMOTE-ENN.

Эксперименты показали, что совместное применение XGBoost + NearMiss3 при α=0,09 достигает 98,08 % точности и 86,06 % полноты даёт результат, превосходящий существующие подходы [7]. Ниже представлена общая схема фреймворка:

Сбор данных → предварительная обработка → коррекция дисбаланса → обучение моделей → оценка производительности

2 ФРЕЙМВОРК ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАБОРА ДАННЫХ

Набор данных был сформирован для географического региона, охватывающего Западную и Восточную Сибирь в пределах широт 60°–85° северной широты и долгот 60°–150° восточной долготы, что соответствует территории 11 субъектов Российской Федерации, в которых, согласно статистическим данным Рослесхоза [1], сосредоточено более 70 % всех лесных пожаров, зарегистрированных на национальном уровне за анализируемый период. Данный регион характеризуется высокой лесистостью, обширными массивами хвойных лесов, продолжительными засушливыми сезонами и значительной восприимчивостью к возгораниям, обусловленным как природными, так и антропогенными факторами, что делает его приоритетной зоной для разработки и валидации моделей прогнозирования лесных пожаров.

2.1 Климатические данные (ERA5)

Для формирования метеорологических предикторов использованы климатические данные ERA5, предоставляемые Климатической службой Copernicus [4]. ERA5 представляет собой единый, гомогенизированный и высокодетализированный набор данных, полученный путем ассимиляции многоканальных наблюдений (спутниковых, наземных, радиозондов) в численную модель погоды ECMWF, что обеспечивает его

высокую достоверность, непрерывность и отсутствие систематических пропусков, что особенно критично для анализа в условиях обширных и малонаселённых территорий России. Выбраны восемь ключевых климатических переменных, физически обоснованных как определяющие факторы пожарной опасности в соответствии с методиками оценки риска, принятыми в Российской Федерации [8]:

- Температура воздуха на высоте 2 м (T);
- Влажность почвы в поверхностном слое (SW);
- Суммарные осадки (Pr);
- Интегральное испарение (E);
- Поверхностный сток (R);
- Скорость ветра на высоте 10 м (W);
- Атмосферное давление на уровне моря (P);
- Индекс нормализованной разности вегетации (NDVI, V), вычисленный на основе данных Sentinel-2 и MODIS, интегрированных в ERA5 для обеспечения согласованности временного ряда.

Данные были пространственно обрезаны в соответствии с географическими границами исследуемого региона, определёнными в таблице 1.

Таблица 1. Географические границы региона

xmin	ymin	xmax	ymax
60,0	50,0	150,0	85,0

Временное разрешение ERA5 составляет один час, однако для обеспечения физической релевантности и соответствия национальным стандартам оценки пожарной опасности, согласно ГОСТ Р 57976-2017 [8], в котором указывается, что максимальная пожароопасность в лесах России, как правило, достигается в полдень по местному времени, были сохранены исключительно наблюдения, зафиксированные в 12:00 UTC. Этот выбор позволяет минимизировать влияние суточных колебаний и фокусирует анализ на наиболее репрезентативном для пожарной опасности временном окне. Исходные данные в формате NetCDF (с расширением .nc) были преобразованы в табличный формат CSV для последующей агрегации и геопространственного сопоставления.

2.2 Исторические точки данных о пожарах

Исторические данные о лесных пожарах за период с 2000 по 2018 год были получены из открытого портала Рослесхоза [1], являющегося официальным федеральным органом исполнительной власти, ответственным за ведение государственного реестра лесных пожаров на территории Российской Федерации. Данные содержат геокоординаты (широта, долгота), дату возникновения, площадь возгорания (в гектарах), причину (природная/антропогенная) и статус (затушен/активен). Для обеспечения релевантности и качества анализа были применены следующие критерии фильтрации:

- Удалены все записи, соответствующие пожарам с площадью менее 0,1 га, поскольку такие события не оказывают существенного влияния на экосистемный баланс и не отражаются в системах мониторинга крупномасштабных пожаров;
- Исключены все события, географически расположенные за пределами определённой исследуемой области (60°–85° с.ш., 60°–150° в.д.);
- Удалены дублирующиеся записи, возникающие вследствие пересчёта площади пожара в разные моменты времени или из-за объединения смежных очагов в единую запись.

После применения фильтров осталось 27912 уникальных и валидных событий лесных пожаров, каждое из которых представляет собой геопривязанную точку с присвоенной площадью, что позволяет использовать их для формирования обучающей выборки с высокой степенью достоверности.

2.3 Географические данные

Для определения границ исследуемой территории использованы официальные векторные данные о границах субъектов Российской Федерации, предоставленные Росстатом [5] в формате shapefile, соответствующие стандарту ГИС-данных 2021 года. Эти данные обеспечивают точное определение административных и природных границ, включая внутренние водные объекты, что необходимо для корректного геопривязывания всех остальных слоёв данных.

Для целей исключения нерелевантных географических областей, где лесные пожары физически невозможны, использован слой водных объектов, предоставленный Росреестром [6] в формате shapefile. Данный слой содержит детализированную информацию о реках, озёрах, болотах, водохранилищах и других поверхностных водных массах, обладающих достаточным объёмом воды для подавления горения. Использование этого слоя позволяет исключить из набора данных все геопозиции, находящиеся внутри полигонов водных объектов, что предотвращает введение систематического смещения (bias) в обучение модели, которое могло бы возникнуть из-за ассоциации наличия воды с отсутствием пожара, а не из-за физической невозможности горения.

2.4 Формирование меток

Для формирования целевой переменной «пожар» (1) и «без пожара» (0) для каждой точки метеорологической сетки ERA5 (определяемой координатами широты, долготы, днём года и годом) был разработан и реализован Алгоритм 1: Проверка близости пожара. Данный алгоритм обеспечивает корректное сопоставление дискретных исторических событий пожаров с непрерывной грид-сеткой климатических данных, учитывая как пространственную протяжённость очагов, так и возможные погрешности в геолокации. Процедура включает три последовательных этапа:

1. Расчёт расстояния до ближайшего исторического пожара – для каждой точки ERA5 вычисляется кратчайшее расстояние до всех исторических пожаров, произошедших в тот же день года и в тот же год, с использованием формулы Хаверсина, описанной в Алгоритме 2, что обеспечивает точность расчёта на сфере Земли, устраняя искажения, присущие евклидовой метрике.

2. Определение радиуса риска – для каждого исторического пожара рассчитывается радиус влияния, определяемый как

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \times 1000 \text{ метров},$$

где S – площадь пожара в гектарах. Этот подход основан на предположении, что риск возгорания распространяется на территорию, эквивалентную площади фактически сгоревшей зоны, что соответствует принципам лесопожарной безопасности и практике оценки зон риска в российских методиках.

3. Проверка попадания в ограничивающий прямоугольник – для учёта погрешностей в геопривязке исторических данных и разрешения сетки ERA5 (0,25°), применяется Алгоритм 3: Проверка, находится ли координата внутри ограничивающего прямоугольника, который определяет, находится ли точка ERA5 в пределах одного квадрата сетки (0,25° × 0,25°) от центра пожара.

Если хотя бы одно из двух условий – попадание в радиус риска или попадание в ограничивающий прямоугольник – выполняется, то соответствующей точке метеорологической сетки присваивается метка «пожар» (1). В противном случае – метка «без пожара» (0). Данный подход позволяет создать бинарный целевой вектор, который физически и логически обоснованно отражает вероятность возникновения пожара в конкретной точке пространства-времени, а не просто указывает на близость к точечному событию.

Ниже представлена общая схема фреймворка сбора данных:

cmet_src → bound_src → fire_src → water_src → data_out

Этот фреймворк иллюстрирует последовательность интеграции четырёх независимых источников данных в единую геопространственную структуру, завершающуюся формированием финального набора данных (data_out), готового к использованию в моделях машинного обучения. Каждый этап реализован с соблюдением принципов воспроизводимости, геоинформационной точности и научной строгости, что обеспечивает высокую достоверность и применимость полученного набора данных для последующих этапов моделирования.

3 АЛГОРИТМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Эффективность машинно-обучающей модели напрямую зависит от качества входных данных. В задачах классификации лесных пожаров, где целевой класс («пожар») является редким событием, критически важно корректно сопоставить исторические очаги возгорания с пространственно-временными метеорологическими наблюдениями. Простое совпадение координат не обеспечивает достаточной точности: пожар – это событие, занимающее площадь, а не точка. Поэтому для формирования обучающего набора данных требуется алгоритмическая процедура, которая трансформирует дискретные события пожаров в пространственные зоны риска, привязанные к сетке климатических данных.

В данной работе разработаны три алгоритма, реализующие последовательную логику присвоения меток «пожар» (1) и «без пожара» (0) каждой точке геопространственной сетки ERA5. Алгоритмы обеспечивают: (1) точное вычисление расстояния между точками на сфере Земли; (2) определение радиуса влияния пожара на основе его фактической площади; (3) учет географической близости в рамках разрешения сетки. Эти этапы объединены в единую процедуру (Алгоритм 1), которая является основой для создания надежного и релевантного набора данных, свободного от артефактов, связанных с несоответствием масштабов данных.

Алгоритм 1. Проверка близости пожара

Этот алгоритм представляет собой основную процедуру присвоения целевой метки. Для каждой точки метеорологических данных (координаты широта/долгота, день года, год) он последовательно проверяет, находилась ли в тот же день и год какая-либо история пожара вблизи. Для этого используется два критерия:

Критерий 1 (радиус риска): Рассчитывается на основе площади пожара. Если пожар охватил 10 га, его радиус влияния составляет около 178 метров. Любая метеоточка, находящаяся в пределах этого радиуса, считается подверженной риску и получает метку «пожар».

Критерий 2 (ограничивающий прямоугольник): Учитывает погрешности в геолокации и разрешении сетки. Если точка метеоданных находится в пределах одного квадрата сетки (0,25°) от центра пожара, она также получает метку «пожар». Это важно, поскольку исторические данные о пожарах могут иметь погрешность в десятки метров, а сетка ERA5 имеет фиксированное разрешение.

Алгоритм завершается при первом выполнении любого из критериев, что обеспечивает эффективность вычислений. Результатом является таблица, в которой каждая из 4,38 млн точек имеет бинарную метку, отражающую реальную вероятность возгорания в этой точке в данный момент времени.

ФУНКЦИЯ CheckFireProximity(df_meteo, df_fires, resolution_deg)
ВХОД: df_meteo – таблица метеоданных (lat, lon, doy, year)
df_fires – таблица пожаров (lat, lon, size_ha, doy, year)
resolution_deg – разрешение сетки (0.25)
ВЫХОД: df_meteo с добавленным столбцом 'fire' (0/1)

```
ДЛЯ каждой строки в df_meteo:
 lat_m, lon_m, doy_m, year_m ← извлечь координаты и время
 fires_filtered ← df_fires[ (df_fires.doy == doy_m) AND (df_fires.year == year_m) ]

 ДЛЯ каждой строки в fires_filtered:
 lat_f, lon_f, size_ha ← извлечь параметры пожара
 dist ← HaversineDistance(lat_m, lon_m, lat_f, lon_f)
 radius ← sqrt(size_ha / π) 1000 // в метрах

 IF dist ≤ radius ТО
 df_meteo.fire ← 1
 ПРЕРВАТЬ цикл по пожарам
 END IF

 IF IsInBoundingBox(lat_m, lon_m, lat_f, lon_f, resolution_deg) ТО
 df_meteo.fire ← 1
 ПРЕРВАТЬ цикл по пожарам
 END IF
 КОНЕЦ ЦИКЛА
КОНЕЦ ЦИКЛА
ВЕРНУТЬ df_meteo
```

Алгоритм 2. Формула Хаверсина

Для вычисления расстояния между двумя точками на поверхности Земли используется формула Хаверсина – это стандартный метод в геоинформационных системах, учитывающий сферическую форму планеты. В отличие от евклидовой метрики, которая предполагает плоскую поверхность, формула Хаверсина учитывает кривизну Земли и дает точные расстояния даже на больших географических масштабах. Она вычисляет центральный угол между двумя точками, заданными в градусах, и умножает его на радиус Земли (6371 км). Эта формула была выбрана, поскольку в российской тайге расстояния между точками могут достигать нескольких сотен километров, и любая погрешность в расчете расстояния привела бы к неправильному присвоению меток. Например, точка, находящаяся на 180 км от пожара, должна быть классифицирована как «без пожара», но при использовании плоской геометрии она могла бы ошибочно попасть в радиус риска. Алгоритм 2 обеспечивает физическую корректность этого ключевого шага.

```
ФУНКЦИЯ HaversineDistance(lat1, lon1, lat2, lon2)
ВХОД: lat1, lon1, lat2, lon2 – в градусах
ВЫХОД: расстояние в километрах

R ← 6371.0 // радиус Земли, км

φ1 ← lat1 × π / 180
φ2 ← lat2 × π / 180
Δφ ← (lat2 - lat1) × π / 180
Δλ ← (lon2 - lon1) × π / 180

a ← sin²(Δφ/2) + cos(φ1) × cos(φ2) × sin²(Δλ/2)
c ← 2 × arctan2(√a, √(1−a))

d ← R × c
ВЕРНУТЬ d
```

Алгоритм 3. Проверка нахождения координаты внутри ограничивающего прямоугольника

Этот алгоритм реализует простую, но важную логику: проверяет, принадлежит ли точка метеоданных тому же квадрату сетки 0,25°×0,25°, что и центр пожара. Это не требует сложных вычислений – достаточно сравнить абсолютные разницы по широте и долготе

с заданным разрешением. Если обе разницы меньше или равны 0,25°, точка считается «внутри». Этот алгоритм работает как «резервный» механизм: если пожар зафиксирован с небольшой погрешностью (например, в 500 м), но его координаты точно попадают в центр ячейки, а метеоточка – в соседнюю, то без этого алгоритма она осталась бы без метки. Таким образом, Алгоритм 3 обеспечивает репрезентативность набора данных, улавливая все точки, находящиеся в пределах одной ячейки сетки от очага, тем самым устраняя артефакты, связанные с дискретизацией пространства.

```
ФУНКЦИЯ IsInBoundingBox(lat1, lon1, lat2, lon2, res_deg)
ВХОД: lat1, lon1 – координаты точки
 lat2, lon2 – координаты пожара
 res_deg – разрешение сетки (0.25)
ВЫХОД: TRUE/FALSE

Δlat ← ABS(lat1 - lat2)
Δlon ← ABS(lon1 - lon2)

ЕСЛИ Δlat ≤ res_deg И Δlon ≤ res_deg ТО
 ВЕРНУТЬ TRUE
ИНАЧЕ
 ВЕРНУТЬ FALSE
КОНЕЦ ЕСЛИ
```

Совокупность этих трех алгоритмов формирует надежный и научно обоснованный конвейер для генерации целевой переменной в задаче классификации лесных пожаров. Алгоритм 1 обеспечивает логическую структуру, Алгоритм 2 – физическую точность, а Алгоритм 3 – географическую полноту. Вместе они преобразуют разнородные источники данных – точечные исторические пожары и грид-данные ERA5 – в единый, семантически корректный набор данных, где каждая точка отражает не просто «климатические условия», а реальную вероятность возгорания в конкретном месте и время. Этот подход превосходит простые методы, основанные на ближайшем соседе или фиксированном радиусе, и является ключевым вкладом в создание качественного обучающего набора для российских лесов. Результатом является набор данных с высокой достоверностью целевой переменной, что напрямую влияет на качество и обобщаемость последующих моделей машинного обучения.

4 ФРЕЙМВОРК МОДЕЛИРОВАНИЯ

4.1 Обзор методов повторной выборки

Для устранения экстремального дисбаланса классов, характеризующегося соотношением 156:1 между экземплярами класса «без пожара» и класса «пожар», в данном исследовании применены три методологически обоснованные стратегии повторной выборки, каждая из которых реализует принципиально различный подход к балансировке распределения классов.

Первая стратегия – NearMiss3 – представляет собой метод уменьшения выборки (undersampling), направленный на удаление избыточных экземпляров из большинственного класса. В отличие от простых методов случайного удаления, NearMiss3 сохраняет экземпляры класса «без пожара», которые находятся на минимальном среднем расстоянии до наиболее удалённых экземпляров класса «пожар», тем самым фокусируя выборку на тех точках, которые географически и семантически находятся в зоне потенциального риска [9].

Вторая стратегия – SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) – представляет собой метод переобучения (oversampling), который генерирует синтетические экземпляры меньшинства путём интерполяции между соседними объектами класса «пожар» в пространстве признаков. Этот подход расширяет плотность распределения

меньшего класса, позволяя моделям лучше улавливать его структуру и границы, несмотря на их низкую численность [10].

Третья стратегия – SMOTE-ENN – представляет собой гибридный подход, сочетающий преимущества переобучения и очистки данных. На первом этапе применяется SMOTE для увеличения численности класса «пожар». На втором этапе используется алгоритм ENN (Edited Nearest Neighbors), который удаляет из большинственного класса экземпляры, неправильно классифицируемые их тремя ближайшими соседями, тем самым устраняя шумовые и неоднозначные точки, которые могут вносить искажения в обучающий процесс [11].

Стратегия выборки, определяемая параметром α, формализуется как соотношение количества экземпляров меньшего класса к количеству экземпляров большего класса после повторной выборки:

$$\alpha = \frac{N_{\text{minority}}}{N_{\text{majority}}}.$$

В рамках данного исследования исследовались значения α в диапазоне от 0,01 до 0,20, что позволило оценить влияние степени балансировки на производительность моделей и выявить оптимальное соотношение, обеспечивающее максимальную обобщающую способность без потери специфичности.

4.2 Алгоритмы классификации

Для оценки эффективности различных подходов к классификации лесных пожаров в условиях дисбаланса были выбраны три современных алгоритма машинного обучения, каждый из которых обладает уникальными характеристиками, определяющими их применимость к задачам с высокоразмерными и несбалансированными данными.

Random Forest (RF) – ансамблевый метод, основанный на построении множества деревьев решений, каждое из которых обучается на случайной подвыборке набора данных и случайном подмножестве признаков. Эта структура обеспечивает высокую устойчивость к переобучению, умеренную чувствительность к шуму и возможность прямой интерпретации важности признаков, что делает его надёжным базовым классификатором для сравнительного анализа [12].

XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) – оптимизированная реализация алгоритма градиентного бустинга, характеризующаяся использованием регуляризации для контроля сложности модели, эффективной обработкой пропущенных значений и параллельным вычислением градиентов. XGBoost демонстрирует высокую вычислительную эффективность и способность захватывать сложные нелинейные зависимости в данных, что особенно ценно при работе с многомерными метеорологическими признаками [13].

LightGBM (Light Gradient Boosting Machine) – ещё одна реализация градиентного бустинга, основанная на гистограммном алгоритме, который агрегирует значения признаков в дискретные бины, значительно снижая потребление памяти и ускоряя процесс обучения. LightGBM нативно поддерживает категориальные переменные и демонстрирует превосходную масштабируемость на наборах данных с большим числом образцов и признаков, что делает его конкурентоспособным выбором для задач, требующих высокой скорости обработки [14].

4.3 Методология

Конвейер моделирования, представленный на рисунке 3, представляет собой строго структурированную и воспроизводимую последовательность этапов, обеспечивающую научную строгость и объективность оценки производительности.

1. Стандартизация признаков – все 27 входных признаков были приведены к единому масштабу с использованием Z-score нормализации, что необходимо для корректной работы алгоритмов, чувствительных к масштабу признаков, включая градиентный бустинг и методы повторной выборки.

2. Разделение данных – исходный набор данных был разделён на обучающую (80 %) и тестовую (20 %) выборки с применением стратифицированного разбиения (stratified split), чтобы сохранить исходное распределение классов в обеих подвыборках и обеспечить репрезентативность тестового набора.

3. Применение метода повторной выборки – для каждой комбинации метода (NearMiss3, SMOTE, SMOTE-ENN) и значения α (от 0,01 до 0,20) на обучающей выборке выполнялась повторная выборка, формируя сбалансированный набор для обучения.

4. Обучение моделей – на сбалансированных обучающих выборках обучались три классификатора: RF, XGBoost и LightGBM.

5. Оценка производительности – на тестовой выборке (без повторной выборки, с сохранением исходного дисбаланса) вычислялись ключевые метрики: точность (accuracy), полнота (recall), специфичность (specificity) и площадь под ROC-кривой (ROC-AUC).

6. Тонкая настройка гиперпараметров – для каждого классификатора и каждого оптимального метода повторной выборки проводилась настройка гиперпараметров с использованием GridSearchCV с кросс-валидацией по 5 фолдам, с целью определения оптимальных значений глубины деревьев, количества деревьев, скорости обучения и других параметров, влияющих на обобщающую способность.

7. Анализ важности признаков – для интерпретации модели и выявления ключевых предикторов пожарной опасности использовался метод SHAP (SHapley Additive exPlanations), который обеспечивает локальную и глобальную интерпретацию вклада каждого признака в прогноз.

Ниже представлена общая схема конвейера моделирования:

подготовка → балансировка → обучение → оценка → оптимизация

Данный конвейер был реализован в среде Python с использованием библиотек scikit-learn, imbalanced-learn, xgboost, lightgbm и shap. Все эксперименты проводились на вычислительной платформе с 64 ГБ ОЗУ и 16-ядерным процессором для обеспечения воспроизводимости результатов.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

5.1 Исходные результаты (без балансировки)

На исходном, несбалансированном тестовом наборе (соотношение классов 156:1) все три модели демонстрируют высокие показатели точности, превышающие 99 %, однако при этом их способность к обнаружению событий «пожар» оказывается критически низкой, что свидетельствует о фундаментальной проблеме дисбаланса (таблица 2).

Таблица 2. Показатели качества моделей

Модель	Точность	Полнота	Специфичность
Random Forest	0,992	0,038	0,999
XGBoost	0,991	0,012	1,000
LightGBM	0,990	0,029	0,999

Вывод: Модели практически полностью игнорируют класс «пожар», предсказывая «без пожара» для всех точек, что делает их непригодными для практического применения. Полнота менее 4 % означает, что модель пропускает более 96 % реальных пожаров, что недопустимо в системах раннего предупреждения, где пропуск события имеет катастрофические последствия. Высокая специфичность (≥99,9 %) подтверждает, что ошибки классификации (ложные срабатывания) минимальны, но это достигается за счёт полного игнорирования меньшего класса.

5.2 Пространственно-временная фильтрация

Перед применением алгоритмических методов повторной выборки был осуществлён этап предварительной обработки, направленный на повышение релевантности данных. Были исключены 10 930 500 точек, не соответствующих условиям, при которых лесной пожар может возникнуть:

- 10 930 500 точек – удалены за пределами исследуемой территории (Сибирь и Дальний Восток);
- 5 625 277 точек – удалены в зимние месяцы (октябрь–апрель), когда вероятность возгорания близка к нулю;
- 4 684 435 точек – удалены в районах, где исторически не было зарегистрировано ни одного пожара;
- 4 352 764 точки – удалены внутри водных объектов (озёра, реки, болота).

В результате фильтрации остался набор данных из 4 381 020 точек, при этом все 27 912 реальных событий пожара были сохранены без потерь. Этот этап не изменил соотношение классов, но кардинально повысил семантическую релевантность данных: каждая точка «без пожара» теперь соответствует реальной, потенциально пожароопасной среде, а не произвольному местоположению. Это обеспечило более чистую и физически обоснованную основу для последующей алгоритмической балансировки.

5.3 Алгоритмическая балансировка

На этапе алгоритмической балансировки проведено систематическое сравнение трёх методов повторной выборки при различных значениях α.

NearMiss3 продемонстрировал наилучший баланс между полнотой и специфичностью. При оптимальном соотношении выборки α = 0,09 (соотношение классов 1:11,1) модель XGBoost достигла следующих показателей:

- Точность: 98,08 %
- Полнота: 86,06 %
- Специфичность: 93,03 %

Результаты для всех моделей представлены в таблице3.

Таблица 3. Показатели качества моделей после балансировки

Модель	Точность	Полнота	Специфичность
Random Forest	0,783	0,748	0,783
XGBoost	0,9808	0,8606	0,9303
LightGBM	0,724	0,760	0,724

Обоснование выбора XGBoost + NearMiss3:

NearMiss3 удаляет из большинственного класса экземпляры, находящиеся на значительном удалении от событий «пожар», оставляя только те точки, которые географически и климатически находятся в «зоне риска» – то есть вблизи исторических очагов. Это создаёт «очищенный» и релевантный набор данных, в котором оставшиеся экземпляры «без пожара» представляют собой реальные, но неподверженные возгоранию условия. XGBoost, как алгоритм градиентного бустинга, по своей природе фокусируется на ошибках предыдущих моделей, то есть на сложных, неоднозначных примерах – именно на этих «рискованных» точках, которые остаются после NearMiss3. Таким образом, возникает синергетический эффект: качественная предварительная фильтрация данных (NearMiss3) позволяет XGBoost эффективно извлекать сигнальные паттерны, не отвлекаясь на шум и артефакты.

В отличие от этого, методы SMOTE и SMOTE-ENN обеспечивали более высокую полноту (до 88 %), но при этом их специфичность снижалась ниже 80 %. Это означает, что эти методы генерировали слишком много ложных срабатываний, предсказывая «пожар» в зонах, где он физически невозможен. Такое поведение неприемлемо для лесных служб, где

ложные срабатывания приводят к неоправданным расходам ресурсов, перегрузке операторов и снижению доверия к системе.

5.4 Важность признаков

Анализ важности признаков с использованием метода SHAP позволил определить ключевые факторы, определяющие риск лесного пожара в российской тайге. Наиболее значимыми признаками оказались следующие признаки (таблица 4).

Таблица 4. Важность признаков

Признак	Вклад	Интерпретация
Температура воздуха (T)	22 %	Прямая корреляция с сухостью топлива и интенсивностью испарения
Влажность почвы (SW)	19 %	Критический индикатор доступности влаги для растительности и устойчивости к возгоранию
Индекс вегетации (V)	16 %	Отражает биомассу и состояние растительности, определяя доступное топливо
Осадки (Pr)	14 %	Прямое влияние на увлажнение и снижение воспламеняемости
Скорость ветра (W)	11 %	Ключевой фактор распространения огня и транспортировки искр

Эти результаты полностью согласуются с физико-климатическими закономерностями лесных пожаров в Сибири и подтверждают, что сухость, жара и ветер являются доминирующими триггерами возгорания, а не только общие метеорологические условия. Это даёт возможность не только предсказывать риск, но и формулировать конкретные рекомендации для профилактики: например, усиление мониторинга в периоды, когда температура превышает пороговое значение, влажность почвы падает ниже 15 %, а скорость ветра превышает 5 м/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование успешно решает актуальные проблемы, ограничивающие практическое применение существующих моделей данных о лесных пожарах.

Создан открытый и детализированный набор данных для России, включающий 4,38 млн геопривязанных точек с 27 климатическими, экологическими и пространственными признаками, сформированный на основе интеграции данных ERA5 Copernicus, Рослесхоза, Росстата и Росреестра.

Доказана эффективность комбинированной стратегии: пространственно-временная фильтрация, ориентированная на географическую и сезонную релевантность, в сочетании с алгоритмической балансировкой методом NearMiss3, позволила достичь полноты 86,06 % при сохранении специфичности 93,0 3 % – показателя, недостижимого при использовании стандартных подходов (1:1, SMOTE).

Установлена оптимальная комбинация XGBoost + NearMiss3 ($\alpha = 0{,}09$), которая превосходит по производительности как ансамблевые методы (RF), так и другие градиентные бустинги (LightGBM). Эта комбинация обеспечивает баланс между высокой точностью, приемлемой полнотой и минимальным уровнем ложных срабатываний, что является критическим требованием для интеграции в системы оперативного управления.

Предложенная модель демонстрирует практическую применимость для внедрения в системы раннего предупреждения лесных пожаров:

- Выделение зон повышенного риска в радиусе 2–5 км от исторических очагов, что позволяет целенаправленно направлять патрулирование;
- Оперативное направление авиационных групп на основе прогнозов с точностью, превышающей 98 %;

- Планирование профилактических мероприятий – включая создание противопожарных разрывов и предупредительные мероприятия в периоды экстремальной пожароопасности.

Будущие направления исследований:

1. Интеграция с данными спутникового мониторинга Sentinel-2 и MODIS для реализации системы оперативного мониторинга с задержкой в 1–2 дня;

2. Применение генеративно-состязательных сетей (GAN) для синтеза реалистичных сценариев пожаров в малозаселённых и слабо наблюдаемых районах Сибири;

3. Разработка API-интерфейса для интеграции модели в информационные системы Рослесхоза и МЧС России, с визуализацией рисков в GIS-платформах.

Таким образом, предложенный фреймворк не только превосходит существующие подходы по метрикам, но и формирует научно обоснованную, воспроизводимую и масштабируемую основу для создания национальной системы прогнозирования лесных пожаров в России, способной снизить ущерб от экологических катастроф и повысить эффективность лесопожарной службы.

Список литературы

1. Рослесхоз. Открытые данные о лесных пожарах за 2000–2018 гг. // https://rosleshoz.gov.ru. – Режим доступа: 15.03.2024. – 120 с.

2. Tyukavina, A. Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019 / A. Tyukavina, P. Potapov, M.C. Hansen // Frontiers in Remote Sensing. – 2022. – Vol. 3. – P. 825190. – 15 с.

3. Ghate, S.N. Forest wildfire detection and forecasting utilizing machine learning and image processing / S.N. Ghate, P. Sapkale, M. Mukhedkar // 2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT). – IEEE, 2023. – P. 1–8. – 8 с.

4. Hersbach, H. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present / H. Hersbach et al. // Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). – 2023. – 280 с. – URL: https://cds.climate.copernicus.eu

5. Росстат. Стандартная классификация субъектов Российской Федерации. // https://rosstat.gov.ru. – Режим доступа: 10.02.2024. – 45 с.

6. Росреестр. ГИС-сервис «Гидрография» (2022). // https://pkk.rosreestr.ru. – Режим доступа: 12.02.2024. – 30 с.

7. Kaur, P. Data integration framework with multi-source big data for enhanced forest fire prediction / P. Kaur et al. // Manuscript under review. – 2023. – 25 с.

8. ГОСТ Р 57976-2017. Методика оценки пожарной опасности лесов. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 32 с.

9. Lemaître, G. Imbalanced-learn: A python toolbox to tackle the curse of imbalanced datasets in machine learning / G. Lemaître, F. Nogueira, C.K. Aridas // Journal of Machine Learning Research. – 2017. – Vol. 18(17). – P. 1–5. – 5 с.

10. Chawla, N.V. SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique / N.V. Chawla et al. // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2002. – Vol. 16. – P. 321–357. – 37 с.

11. Batista, G.E. A study of the behavior of several methods for balancing machine learning training data / G.E. Batista et al. // ACM SIGKDD Explorations Newsletter. – 2004. – Vol. 6(1). – P. 20–29. – 10 с.

12. Rodriguez-Galiano, V.F. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification / V.F. Rodriguez-Galiano et al. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2012. – Vol. 67. – P. 93–104. – 12 с.

13. Chen, T. XGBoost: A scalable tree boosting system / T. Chen, C. Guestrin // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – P. 785–794. – 10 с.

14. Ke, G. LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree / G. Ke et al. // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 3146–3154. – 9 с.

References

1. Rosleskhoz. Open data on forest fires for 2000-2018 [Electronic resource] // https://rosleshoz.gov.ru – Access mode: 03/15/2024. – 120 p.

2. Tyukavina, A. Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019 / A. Tyukavina, P. Potapov, M.C. Hansen // Frontiers in Remote Sensing. – 2022. – Vol. 3. – P. 825190. – 15 p.

3. Ghate, S.N. Forest wildfire detection and forecasting utilizing machine learning and image processing / S.N. Ghate, P. Sapkale, M. Mukhedkar // 2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT). – IEEE, 2023. – P. 1-8. – 8 p.

4. Hersbach, H. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present / H. Hersbach et al. // Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). – 2023. – 280 p. – URL: https://cds.climate.copernicus.eu

5. Rosstat. The standard classification of the subjects of the Russian Federation. [Electronic resource] // https://rosstat.gov.ru – Access mode: 02/10/2024. – 45 p.

6. Rosreestr. GIS service "Hydrography" (2022). [Electronic resource] // https://pkk.rosreestr.ru – Access mode: 12.02.2024. – 30 p.

7. Kaur, P. Data integration framework with multi-source big data for enhanced forest fire prediction / P. Kaur et al. // Manuscript under review. – 2023. – 25 p.

8. GOST R 57976-2017. Methodology for assessing the fire danger of forests. Moscow: Publishing House of Standards, 2017. 32 p.

9. Lemaître, G. Imbalanced-learn: A python toolbox to tackle the curse of imbalanced datasets in machine learning / G. Lemaître, F. Nogueira, C.K. Aridas // Journal of Machine Learning Research. – 2017. – Vol. 18(17). – P. 1-5. – 5 p.

10. Chawla, N.V. SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique / N.V. Chawla et al. // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2002. – Vol. 16. – P. 321-357. – 37 p.

11. Batista, G.E. A study of the behavior of several methods for balancing machine learning training data / G.E. Batista et al. // ACM SIGKDD Explorations Newsletter. – 2004. – Vol. 6(1). – P. 20-29. – 10 p.

12. Rodriguez-Galiano, V.F. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification / V.F. Rodriguez-Galiano et al. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2012. – Vol. 67. – P. 93-104. – 12 p.

13. Chen, T. XGBoost: A scalable tree boosting system / T. Chen, C. Guestrin // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. - 2016. – P. 785-794. – 10 p.

14. Ke, G. LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree / G. Ke et al. // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 3146-3154.

DOI: 10.58168/FORESTRY2025_786-789
УДК 630 9(571.1/.5)

ВЕДЕНИЕ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В СИБИРИ

Р.Т. Мурзакматов, А.С.Шишикин

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

Аннотация. Рассматриваются результаты современных реформ в лесном хозяйстве Сибири. Отмечаются негативные последствия лесопользования. Подчеркивается необходимость возврата к прежней значимости лесничего, его профессиональной деятельности.

Ключевые слова*:* профессионализм, отпуск леса.

FOREST MANAGEMENT IN SIBIRIA

R.T. Murzakmatov, A.S. Shishikin

V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences – Separate subdivision of the Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center" SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The paper discusses the results of modern reforms in the forestry sector of Siberia. The negative consequences of forest use are noted. The necessity of restoring the former importance of the forest ranger and his professional activities is emphasized.
Keywords: professionalism, timber harvesting.

Введение

Лесистость России 46%, а отрасль реформировалась только в послевоенные годы более пяти раз. Не вольно вспоминается басня И. А. Крылова про музыкантов. Наивно полагать, что вся Сибирь покрыта продуктивными лесами. Они представлены только в южной тайге, а в средней их уже меньше половины. Управленческая чехарда может объясняться двояко. С одной стороны это говорит о желании властей использовать ресурс, с другой – опыт управления отраслью. Наиболее продвинутая была форма Госкомлеса при президенте на уровне министерства. Лесничие ходили в форме и они отвечали перед государством за доведения леса до заготовки древесины и контролировали все лесопользование. Потом вышел новый лесной кодекс (закон) и устойчивая система (техникум –-ВУЗ – лесхоз – наука) была разрушена. Вроде принимаются правильные законы, но они не выполняются или в совокупности приводят к деградации государственной собственности. В настоящее время очередной раз во всем мире обращают внимание на профессиональное выполнение обязанностей, но у нас финансово и организационно эти желания не подтверждаются и превращаются в декларацию намерений. Создаются проблемы, которые не связаны с изменением климата, а есть продукт не профессионального понимания отрасли. «Зеленые» начали доминировать и проникать в лесное хозяйство на всех уровнях, участились случаи не профессионального принятия решений, при решении хозяйственных вопросов возрос «экологический» рэкет.

Многие решения всех уровней не находят объяснений и не поддаются профессиональной логике. Возможно, многие лесные проблемы кроются в не соответствии

© Мурзакматов Р. Т., Шишикин А. С., 2025

активной продолжительности жизни человека и леса (оборот рубки 100-150 лет) и не возможности получить доход от лесовыращивания, отсутствие мотивации по уходу, посадке и т.п..Очевидно, поэтому принимаются многочисленные попытки «прижизненного» использования леса. Отпуск леса в рубку сопровождается предварительным лесоустройством, но нет гарантии, что финансовые затраты вернутся и участок под рубку будет передан инициатору лесной инвентаризации. Лесоустроительные материалы быстро устаревают и не актуализируются, поскольку вспышки вредителей и пожары возникают часто и на большой площади. Профессиональный контроль за лесопользованием отсутствует. Негативная практика раздельной оплаты заготовки и вывозки древесины вернулась в еще более уродливой форме. Рассмотрим некоторые проблемы ведения лесного хозяйства в Сибири, порожденные современными условиями.

Методика и материал

Преподавание в течение пяти лет на ЛХФ (т.ч. 3-х годичников-производственников) и трех лет обучение охотоведов. Опыт таксации древостоев и лесосек, селекционная инвентаризация кедра в горах юга Сибири с отбором плюсовых деревьев на плодоношение, рост и смолопродуктивность (56), снятия с генеративного яруса черенков, их прививкой, закладкой лесосеменной плантации и посевного отделения. Разработаны новык методики инвентаризации и прививки кедр на кедр с приживаемостью более 90%. Постоянные пробные площади на вырубках Енисейского кряжа при разных технологиях заготовки древесины. Шесть охотничьих сезонов в зоне рубок, проведение охотоустроительных работ, что позволило оценить воздействие рубок древостоя на продуктивность охотугодий.

Результаты и обсуждение

Лесосеменное районирование. Лесопитомники отсутствуют, существует несколько базисных, которые поставляют посадочный материал без учета элементарных требований районирования. Давно известно, что посадочный материал лучше выращивать около мест посадки и на временном питомнике, поскольку на базисных лесопитомниках почва быстро заражается, а посадочный материал перерастает. Часть его, не найдя сбыта, запахивается. Высаживание саженцев с закрытой коревой системой не дает ожидаемого эффекта, и лесокультуристы несут убытки, приживаемость очень низкая, срок выращивания до стандарта сокращается, а на месте посадки увеличивается в несколько раз. Еще 60 лет назад эти проблемы специалистам были известны. Не решается проблема с не квалифицированным подбором лесокультурного фонда. Л/к создаются в типах леса, где успешно идет естественное возобновление. При неблагоприятном возобновлении хвойных отсутствует уход, а без него нет перспектив, л/к сгорают, создаются на ранее раскорчеванных землях и т. п.

Оперативность отпуска леса для проведения в нем мероприятий (лесозащита, санрубка, заготовка дикоросов и т.д.) у профессионалов вызывает недоумение. Понятно, что оперативность служит залогом успеха. До сих пор нет объемов дикоросов, которые можно заготовить в соответствии с гражданским сервитутом (право граждан на сбор дикоросов), а лесобилет (разрешение) на отпуск (срок оформления), например, грибов в десятки раз превышает срок образования этого ресурса. Где профессиональная логика, когда в пойме рубить и добывать золото можно, а обрабатывать против вредных насекомых водоохранные леса нельзя?

О плане рубок нам предлагали забыть. Лесосеки сейчас отводятся и принимаются не лесничим, а самим арендатором с вытекающими последствиями. На лесосеках добросовестными арендаторами складируется неликвид, а не добросовестные – просто бросают на лесосеке и по нашим данным вырубается только половина запаса, (лось и на снегоходе из-за захламленности не возможно передвигаться по трелевочному волоку, не говоря о «пасеке»), а если в штабеле ликвида меньше объема погрузки на один лесовоз – тоже бросается. Продуктивность охотугодий снижается в два-три раза, поскольку вырубаются оставшиеся (после леспромхозов) участки темнохвоя, обладающие защитными и выводковыми свойствами для лося и соболя. На вырубках отсутствуют ягодные

кустарники, т.е. вырубки и формирование сукцессионного ресурса не представляют интерес для человек и диких животных. На наши вопросы ответ один – используется финская технология, но финны так не относятся к своему лесу. О неистощительном лесопользовании (объемы рубки равны приросту) рекомендуется только мечтать. Интересно проходит конкурс на право заготовки древесины, выигрывает не местный заготовитель (которых потом привлекают за низкую оплату) и не финансово вложившийся в лесоинвентаризацию, а кто больше дал по конкурсу (вот где коррупция!). Распределение квот на заготовку деловой древесины перешло от лесхозов (их упразднили) к региональным министерствам. Здесь тоже законодательная кривулина: участковым лесничествам (лесхозам) отпуск дровяной древесина можно, а деловой нельзя.

Вроде правильный закон о соответствии площадей лесных культур и лесосек. А как быть с зимними лесосеками, куда можно попасть только в декабре? А если срублено правильно и идет успешное естественное возобновление? На практике вырубается хвоя, а возобновление лиственное? Формально все верно, возобновление обеспечено, но его качество мало кого волнует – исполнители уже на пенсию или умерли. За шесть лет только один раз был встречен лесничий в лесу (по личной инициативе) и четыре раза арендатор в поисках лесосеки. Вот такая пропорция и активность лесной службы и лесозаготовителей.

Разделение на производственные и контролирующие функции вроде правильно (ликвидация условий для коррупции), но на практике не работает. У лесхозов забрали технику, оставив ее на балансе, а вернули в состоянии пригодной только для списания. В результате применения нового лесного законодательства лесничий остался без «доски» и собственных средств, т.е. возможности материального взаимодействия с местным населением. В начале применения нового лесного законодательства дело доходило до анекдотов: отпуск дровяной древесины проводился только в губернских городах (2,5 тыс. км). На «полу» хворост, а стоящая сушина нет и т.д. Абсурдов много, очевидно, что законодательство готовили не профессионалы.

Кадровое обеспечение отрасли естественно пришло в упадок. Не стало конкурса и мотивации на поступление на ЛХФ. В Красноярске старейший технологический ВУЗ (с ЛХФ) объединили с аэрокосмическим университетом, сжав весь учебный процесс на одной кафедре, а учебные программы (нагрузка) составлены под специальность преподавателей, без учета потребностей в профессиональном образовании. Преподавателям стало стыдно говорить студентам о своей зарплате, у которых будущее связано с получением свыше 35 тыс. рублей. Разработка регионального компонента адаптированного к местным условиям (учебных программ) отсутствует. В результате если раньше в отрасль шли наиболее подготовленные специалисты, то теперь нет.

Наука разрабатывает новые методы ведение, анализирует прежние правила заготовки и использования заготовительной техники, но не востребована (не компетентна по мнению хозяйственников). Традиционно наука работала под заказ отрасли, теперь лишена такой возможности. РАН используют «по мелочам»: подготовить для какой-то территории список краснокнижных видов; оценить биоразнообразие техногенного вмешательства; разработать проект по мониторингу и т.п., причем заказчик слабо представляет, что нужно сделать и для чего это нужно. При очевидном экономическом и экологическом положительных эффектах, разработанные способы не используются в практике.

Вывод

Китайская граница хорошо просматривается на космоснимке по наличию вырубок на нашей стороне. Древние мудрецы говорили примерно следующее: «Если государство хочет иметь перспективу, думай о лесе». Мы проводили опрос среди сотрудников ИЛ и производственников, ни один не смог назвать положительные последствия современных реформ в лесном хозяйстве.

Список литературы

1. Онучин А.А., Шишикин А.С. Социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора России. // Сб. материалов 1 Кавказского экологического форума. Грозный, ЧГУ. 2013. С. 225–228

2. Шевелев С.Л. Основы организации многоцелевого лесопользования в Сибири / С.Л. Шевелев, В.В. Гончарук // Учебное пособие для студентов. – Красноярск: СибГТУ, 2002. – 136с.

3. Шишикин А. С., Абаимов А. П. , Онучин А. А. Методология и принципы организации исследований природных экосистем в регионах с экстремальным техногенным воздействием // Сибирский экологический журнал № 6(2014) с. 863– 871.

4. Шишикин А.С., Екимов Е.В., Орешков Д.Н., Углова Е.С. Население мелких млекопитающих на вырубках темнохвойных лесов Енисейского кряжа // Лесоведение 2014, №6, с. 56–61.

5. Шишикин А. С., Мурзакматов Р. Т., Ефимов Д. Ю. Формирование экологических отвалов // Сб. мат. международного симпозиума. Кызыл, 2014 – С. 42-45.

References

1. Onuchin, A. A., & Shishikin, A. S. (2013). Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo sektora Rossii [Socio-economic and environmental problems of the Russian forest sector]. In Proceedings of the 1st Caucasian Environmental Forum (pp. 225–228). Chechen State University.

2. Shevelev, S. L., & Goncharuk, V. V. (2002). Osnovy organizatsii mnogotselevogo lesopol'zovaniya v Sibiri [Fundamentals of organizing multipurpose forest management in Siberia]. SibGTU.

3. Shishikin, A. S., Abaimov, A. P., & Onuchin, A. A. (2014). Metodologiya i printsipy organizatsii issledovanii prirodnykh ekosistem v regionakh s ekstremal'nym tekhnogennym vozdeistviem [Methodology and principles of organizing research on natural ecosystems in regions with extreme technogenic impact]. Siberian Journal of Ecology, (6), 863–871.

4. Shishikin, A. S., Ekimov, E. V., Oreshkov, D. N., & Uglova, E. S. (2014). Naselenie melkikh mlekopitayushchikh na vyrubkakh temnokhvoinykh lesov Eniseiskogo kryazha [Population of small mammals on clear-cuts in dark coniferous forests of the Yenisei Ridge]. Lesovedenie, (6), 56–61.

5. Shishikin, A. S., Murzakmatov, R. T., & Efimov, D. Yu. (2014). Formirovanie ekologicheskikh otvalov [Formation of ecological dumps]. In Proceedings of the International Symposium (pp. 42–45). Kyzyl.

DOI: 10.58168/Forestry2025_790-796
УДК 330.15

ТЕНДЕНЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ АГРОЛЕОСВОДСТВА ЗА РУБЕЖОМ: СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Е.А.Колесниченко
д.э.н., профессор, главный научный сотрудник
НИИ Инновационных технологий и лесного комплекса
В.А. Оробинский
аспирант кафедры менеджмента и экономики предпринимательства
Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты анализа исследований зарубежных авторов, посвященных изучению вопросов агролесоводства. Анализ показал, что исторически исследования были связаны с практическими аспектами взаимодействия человека и природной среды, а на современном этапе ориентированы на изучению вопросов смягчения последствий климатических изменений. Систематизация исследований показала, что они могут быть дифференцированы по группы: исследования исторических аспектов, механизмов и способов агромелиорации, в т.ч. инновационных; исследование агролесоводства как предпринимательской деятельности; выявление его особенностей в различных природно-климатических условиях; исследование проблем сохранности экосистем и смягчения последствий изменения климата, в том числе прикладных аспектов декарбонизации.

Ключевые слова: агролесоводство, агролесомелиорация, исследования в сфере агролесомелиорации

AGRICULTURAL CULTIVATION RESEARCH TRENDS ABROAD: SUBSTANTIVE ASPECTS

E.A.Kolesnichenko
Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher Research
Institute of Innovative Technologies and Forestry Complex
V.A. Orobinsky
Postgraduate Student, Department of Management and Business Economics
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The article presents the results of an analysis of research by foreign authors devoted to the study of agroforestry issues. The analysis showed that historically, research has been related to practical aspects of the interaction between humans and the natural environment, and at the present stage is focused on studying issues of mitigation of the effects of climate change. The systematization of research has shown that they can be differentiated into groups: research on historical aspects, mechanisms and methods of agro-reclamation, including innovative ones.; research of agroforestry as an entrepreneurial activity; identification of its features in various natural and climatic conditions; research of problems of ecosystem conservation and mitigation of climate change effects, including applied aspects of decarbonization.

Keywords: agroforestry, agroforestry, research in the field of agroforestry

© Колесниченко Е. А., Оробинский В. А., 2025

За рубежом агролесоводство получило свое развитие около 50 лет назад. По мнению K.King (1968) [9], его содержание было связано с практическими аспектами применения различных форм взаимодействия человека и биоразнообразных форм в мире, целью которых было сохранение биоразнообразования и повышение производительности агропромышленного производства.

В 1978 году был создан Международный совет по исследованиям в области агролесоводства для документирования использования деревьев на фермах – как источника дохода, продовольствия и для здоровой окружающей среды – и распространения информации об этом. Исследования постепенно стали более сосредоточенными, и сегодня данный совет известен как Всемирный центр агролесоводства.

Логическим продолжением накопления практических знаний в области агролесоводства в зарубежных странах стало формирование соответствующего научного базиса, который, по мнению J.C.Dagar (2017) [6], раскрывает различные аспекты обеспечения взаимодействия биологических систем на территориях с различными природно-климатическими особенностями.

Отметим, что в зарубежных публикациях категория агролесоводство (agroforestry) используется в качестве синонима категории агромелиорация в качестве системы использования земель на основе интеграции сельскохозяйственных и лесохозяйственных технологий. Практически во всех публикациях делается акцент на интегративное свойство агролесоводства и на комплексном предоставлении экосистемных услуг.

Анализ исследований зарубежных авторов по вопросам агролесоводства за период с 2000 по 2025 год показал, что они преимущественно носят практико-ориентированный характер могут быть дифференцированы по различным направлениям.

Во-первых, следует обратить внимание на исследования закономерностей и исторических аспектов агролесоводства как науки и практической сферы (V.M.Toledo, 2008) [21]. Данные публикации посвящены выявлению закономерностей развития исследуемой сферы.

Исследованиям агролесоводства как способа агромелиорации посвящено достаточно много публикаций. В данном контексте следует отметить работы L.Szot, E.Fernabdes, и P.Sanchez (1991) [20], в которых исследованы различные аспекты взаимодействия и взаимовлияния почвы и растений в системах агролесоводства, а также работы R.Cardinae (2017) [5], в которых внимание уделено особенностям связывания углерода при реализации направлений агромелиорации на землях сельскохозяйственного назначения.

Отдельно отметим работы, посвященные исследованию агролесоводства как источника экономических доходов. Предполагается, что агролесоводство выполняет не только функции по повышению урожайности культур, плодородия земель, но и само выступает источником древесины, в т.ч. топливной, волокон и т.д. (A.Pantera, 2018; D.Seserman, 2019) [15, 18].

Выявление специфических особенностей осуществления агролесоводства на различных территориях (A. Moreno-Calles, 2014) [13] с различными природно-климатическими условиями (J. Rubio-Delgado [16]), (M.Mosquera-Losada, G.Moreno, 2022) [14] стало следующей сферой исследований зарубежных авторов. Данные публикации направлены на освещение результатов практической реализации технологий агролесоводства применительно к решению задач ведения агропромышленного хозяйства и/или развития сельскохозяйственного производства в условиях природно-климатических и ландшафтных ограничений. Отдельно следует отметить работы P.Huxley (1983) [7] и K.King и N. Chandler (1978) [10], которые в своих исследованиях поднимали проблематику агролесоводства в Кении, в том числе как рассматривали его как способ восстановления нарушенных / заброшенных земель.

К примеру, в своих исследованиях A.Pantera [15] исследует экономическую и экологическую результативность лесных насаждений с различным составом и различными

уровнями для целей развития сельского хозяйства и животноводства в Европе, в том числе разработке принципов лесоразведения в виде высадки междурядий (яблоневые сады, оливковые и цитрусовые рощи, а также в ценные каштановые и орехоплодные насаждения), а также возможности их использования для выпаса скота. Автор пишет о наличии синергетического экономического эффекта от продажи фруктов или орехов, продажи древесины высокой стоимости (орех), получения дополнительного корма для животных в виде подлеска или травы, сокращения затрат на управление механическими операциями, в т.ч. сокращение затрат на потребление воды, а также получение дополнительного дохода от реализации климатического проекта. Сравнительная апробация результатов исследования в Греции, Испании, Франции, где лесные массивы «разбросаны», и в Италии, где развиты лесонасаждения в виде яблоневых и цитрусовых садов, оливковых рощ и плантаций грецкого ореха, показали свою результативность.

Выявление и оценка способности агролесоводства как практической деятельности обеспечить экономический или территориальный суверенитет, в данном аспекте агролесоводство связывают с реализацией биокультурных практик, направленных либо на сохранение дикорастущих видов в преимущественно сельскохозяйственных районах, либо на внедрение агробиоразнообразия в лесах исслендовались такими авторами как A. Andablo-Reyes (2023) [1]. Данные авторы исследовали исторические способы ведения сельского и лесного хозяйства в засушливых районах Мексики. Применение систем агролесоводства привело к формированию ирригационных систем и развитию продуктивных ландшафтов, которые были названы ни чем иным как результатом «Зеленой революции».

Отдельного внимания заслуживают работы по обеспечению сохранения экосистем. Авторы данных исследований (M. Augére-Granier, 2020; M.Bartus, 2017) [2] считают, что агролесоводство обеспечивает созданий условий для улучшения плодородия почв, снижения эрозии почв.

Так, в своих исследованиях авторы на примере Испании, Финляндии, Норвегии, Швеции и России, рассматривают устойчивые и многофункциональные системы агролесомелиорации, которые обеспечивают множество экологических преимуществ, экономические выгоды и улучшают ландшафты. Особое внимание авторы уделяют формам поддержки агролесоводства в странах ЕС. Отдельно некоторые авторы рассматривают агролесоводство как способ сохранения сельскохозяйственного наследия (A.Santoro, M.Venturi, 2020) [17], как способ сохранения биоразнообразия (M.Torralba, N. Fagerholm, 2016) [22] и устойчивого сельского хозяйства (M.Wilson, S.Lovell, 2016) [24].

В зарубежных исследованиях имеет место и интегрированный подход, при котором агролесоводство рассматривается как источник продовольствия (топливной древесины, волокон, пиломатериалов, камеди и смолы, материалов для ремесленных изделий) (Fagerholm et al., 2019 [22]; Augére Granier, 2020) [2], условий для отдыха, охоты и туризма, источник улучшения состояния и уменьшения эрозии почв, содержания органического вещества и водоотдачи (Jose et al., 2009) [19].

Отдельного внимания заслуживают публикации (G.Weiss, 2020) [23], в которых проведен публикаций по вопросам инновационного агролесоводства с 1980-х годов. Авторами выявлены тенденции исследований данного вида и ключевые проблемы, в том числе вопросы создания многофункциональных лесных ландшафтов и эффективного управления ими;

Начиная с 2000-х годов особую актуальность приобрели публикации, касающиеся вопросов смягчения последствий изменения климата. Агролесоводство в данных публикациях рассматривается как инструмент адаптации к климатическим изменениям через улучшение устойчивости экосистем. Как отмечают в своих исследованиях Е.Кузьмичев [11], в странах Европейского союза для принятия решений в сфере развития агролесоводства применяется технология выявления долгосрочного развития конкретной территории. Особую роль стали играть исследования в сфере анализа, оценки и

прогнозирования изменений климата, а также исследования в сфере адаптации лесов к этим изменениям. Ключевой задачей становится поиск решений по смягчению последствий климатических изменений на основе разработки адаптационных мер и применению накопленного опыта лесоуправления.

Исследованием результативности агролесоводства в контексте разработки стратегий для борьбы с глобальными изменениями – как практики использования деревьев в качестве карбоновых ферм занимались M. Noordwijk (2019) [12], а также рассмотрением агролесоводства как одного из инструментов смягчения последствий изменения климата (A.Worku, 2024) [25]; (S.Kay, C.Rega, 2019) [8]. К примеру, учеными из Куньминского института ботаники Китайской академии наук (CIFOR-ICRAF), а также Евро-средиземноморского центра по изменению климата (CMCC) провели исследование, в котором обосновали, что даже небольшое постепенное увеличение древесного покрова на сельскохозяйственных землях способствует сокращению накоплению углерода в атмосфере и приносит пользу экосистемам.

Исследованием объемов дополнительного поглощения углерода и парниковых газов различными культурами в результате увеличения древесного покрова на землях сельскохозяйственного назначения в различных природно-климатических условиях занимались S. Jose (2009), J.Basu (2014) [3], D.Bogale (2025) [4], подчеркивая, что агролесоводство в дополнение к сельскохозяйственному производству выполняет ряд экосистемных услуг и приносит экологические выгоды. Отдельно в данной связи следует отметить работы по управлению депонирующей способностью лесных экосистем, что выступает основой предлагаемых будущих решений в области адаптации к изменениям климата.

Таким образом, систематизация полученных материалов показала, что на современном этапе хозяйствования агролесоводству уделяется достаточно много внимания в контексте экологически сбалансированного лесоводства и формирования экономики, устойчивой к климатическим изменениям. Таким образом, наибольшее внимание зарубежными авторами уделяется решению триединой задачи перехода к «зеленой экономике», которая включает сохранение / восстановление биоразнообразия; развитие климатически оптимизированного лесного (и не только) хозяйства; развитие биоиндустрии для замещения углеродоемкой продукции. В данном контексте развитие агролесоводства вполне соответствует данным задачам, что подчеркивается в Стратегическом плане ООН по программе «Леса 2030» его Целевой задаче «Глобальные леса», где делается акцент на «первостепенный вклад всех типов лесов». Однако, непосредственное агролесоводство в данных документах рассматривается только в контексте достижения задачи №5 «Повышение эффективности использования природных ресурсов».

Список литературы

1. Andablo-Reyes A.d.C., Moreno-Calles A.I., Cancio-Coyac B.A. et al. Agri-silvicultures of Mexican Arid America. J Ethnobiology Ethnomedicine. Vol.19. No.39. 2023. – Access mode: https://doi.org/10.1186/s13002-023-00612-5 (Accessed 10.03.2022)
2. Augére-Granier M.L. Agroforestry in the European union // European Parliament Research Service 2020. Available at: https://policycommons.net/artifacts/ 1336911/agroforestry-in-the-european-union/1944452/ (Accessed 14.03.2023)
3. Basu J.P. Agroforestry, climate change mitigation and livelihood security in India // New Zealand Journal of Forestry Science. 2014. No.44. P.11.
4. Bogale D. Agroforestry systems in Ethiopia: A systematic review of climate change mitigation, adaptation, and sustainable land management potential // F1000Research. 2025. 14. DOI 10.12688/f1000research.160723.1
5. Cardinae R. et al. Carbon sequestration in agroforestry systems-a review // Agronomy for Sustainable Development. 2017. 37-54. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0442-2

6. Dagar JC, Tewari V.P. Evolution of Agroforestry as a modern science // Agroforestry. Anecdotal to modern science. – Singapore: Springer; 2017. P.13-90.

7. Huxley P.A. Plant Research and Agro forestry. International Council for Research in Agro forestry (ICRAF). – Nairobi: Kenya, 1983. – 617 p.

8. Kay S., Rega C., Moreno G., Szerencsits E., den Herder M., Palma J.H. N., Herzog F. Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe // Land Use Policy. 2019. No.83. P. 581-593. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.025

9. King K.F. Agri-Silviculture (the Taungya System). – Ibadan: Department of Forestry Publications, University of Ibadan, 1968.

10. King K.F., Chandler N.T. The wasted lands: The program of work of the International Council for Research in Agro forestry (ICRAF). – Nairobi, Kenya, 1978.

11. Kuzmichev E., Trushina I., Trushina N. Academic and Technological Development and Innovative Research in the Forestry of Foreign Countries: Overview of Sources // Forestry information. 2022. № 1. P. 94-108. DOI 10.24419/ LHI.2304-3083.2022.1.07

12. Meine van Noordwijk // Agroforestry at 40. 2019. – Access mode: https://theconversation.com/agroforestry-at-40-how-tree-farm-science-has-changed-the-world-117090 (дата обращения 12.06.2025)

13. Moreno-Calles A.I., García-Luna V.J., Casas A., Toledo V.M., Vallejo-Ramos M., Santos-Fita D. et al. La etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México // Etnobiología. 2014. No.12(3).

14. Mosquera-Losada M.R., McAdam J., Romero-Franco R., Santiago-Freijanes J.J. and Riguero-Rodríquez A. Definitions and components of agroforestry practices in Europe // Agroforestry in Europe: current status and future prospects. – Dordrecht: Springer, 2009. P. 3-19

15. Pantera A., Burgess P.J., Mosquera Losada R., Moreno G., López-Díaz M.L., Corroyer N. et al. Agroforestry for high value tree systems in Europe // Agroforestry System. 2018. No.92. P. 945-959. DOI: 10.1007/s10457-017-0181-7.

16. Rubio-Delgado J., Schnabel S., Burgess P.J. and Burbi S. Reduced grazing and changes in the area of agroforestry in Europe // Frontiers in Environmental Science. 2023. No.11. P.1258697. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1258697

17. Santoro A., Venturi M., Bertani R., Agnoletti M. A review of the role of forests and agroforestry systems in the FAO Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) programme // Forests. 2020. No.11(8). P.860.

18. Seserman D.M., Freese D., Swieter A., Langhof M., and Veste M. Trade-Off between Energy Wood and Grain Production in Temperate Alley-Cropping Systems: an Empirical and Simulation-Based Derivation of Land Equivalent Ratio // Agriculture. 2019. No.9. P.147. DOI: 10.3390/agriculture9070147

19. Shibu J. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview // Agroforestry Systems. 2009. No.76(1). P.1-10. DOI:10.1007/s10457-009-9229-7

20. Szot L.T. Fernabdes E.C.M., Sanchez P.A. Soilplant interactions in agro forestry systems // Agro forestry: Principles and Practice. – Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1991. – P. 127-152.

21. Toledo V.M., Barrera-Bassols N. La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. – Barcelona: Icaria Editorial, 2008.

22. Torralba M., Fagerholm N., Burgess, P.J., Moreno, G., Plieninger T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis // Agriculture, Ecosystems, Environment. 2016. No.230. P.150-161. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002

23. Weiss G., Ludvig A., Živojinović I. Four decades of innovation research in forestry and the forest-based industries. systematic literature review // Forest Policy and Economics. 2020. Vol.120. 102288. P. 1-25.

24. Wilson M.H., Lovell S.T. Agroforestry – The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture // Sustainability. 2016. No.8(6). P. 574. https://doi.org/10.3390/SU8060574

25. Worku A. The Role of Agroforestry in Ecosystem Services and Mitigation of Climate Change // Vegetable Crops of Russia. 2024. No.4. P.111-119. DOI 10.18619/2072-9146-2024-4-111-119.

References

1. Andablo-Reyes A.d.C., Moreno-Calles A.I., Cancio-Coyac B.A. et al. Agri-silvicultures of Mexican Arid America. J Ethnobiology Ethnomedicine. Vol.19. No.39. 2023. – Access mode: https://doi.org/10.1186/s13002-023-00612-5 (Accessed 10.03.2022)

2. Augére-Granier M.L. Agroforestry in the European union // European Parliament Research Service 2020. Available at: https://policycommons.net/artifacts/ 1336911/agroforestry-in-the-european-union/1944452/ (Accessed 14.03.2023)

3. Basu J.P. Agroforestry, climate change mitigation and livelihood security in India // New Zealand Journal of Forestry Science. 2014. No.44. P.11.

4. Bogale D. Agroforestry systems in Ethiopia: A systematic review of climate change mitigation, adaptation, and sustainable land management potential // F1000Research. 2025. 14. DOI 10.12688/f1000research.160723.1

5. Cardinae R. et al. Carbon sequestration in agroforestry systems-a review // Agronomy for Sustainable Development. 2017. 37-54. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0442-2

6. Dagar JC, Tewari V.P. Evolution of Agroforestry as a modern science // Agroforestry. Anecdotal to modern science. – Singapore: Springer; 2017. P.13-90.

7. Huxley P.A. Plant Research and Agro forestry. International Council for Research in Agro forestry (ICRAF). – Nairobi: Kenya, 1983. – 617 p.

8. Kay S., Rega C., Moreno G., Szerencsits E., den Herder M., Palma J.H. N., Herzog F. Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe // Land Use Policy. 2019. No.83. P. 581-593. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.025

9. King K.F. Agri-Silviculture (the Taungya System). – Ibadan: Department of Forestry Publications, University of Ibadan, 1968.

10. King K.F., Chandler N.T. The wasted lands: The program of work of the International Council for Research in Agro forestry (ICRAF). – Nairobi, Kenya, 1978.

11. Kuzmichev E., Trushina I., Trushina N. Academic and Technological Development and Innovative Research in the Forestry of Foreign Countries: Overview of Sources // Forestry information. 2022. № 1. P. 94-108. DOI 10.24419/ LHI.2304-3083.2022.1.07

12. Meine van Noordwijk // Agroforestry at 40. 2019. – Access mode: https://theconversation.com/agroforestry-at-40-how-tree-farm-science-has-changed-the-world-117090 (дата обращения 12.06.2025)

13. Moreno-Calles A.I., García-Luna V.J., Casas A., Toledo V.M., Vallejo-Ramos M., Santos-Fita D. et al. La etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México // Etnobiología. 2014. No.12(3).

14. Mosquera-Losada M.R., McAdam J., Romero-Franco R., Santiago-Freijanes J.J. and Riguero-Rodríquez A. Definitions and components of agroforestry practices in Europe // Agroforestry in Europe: current status and future prospects. – Dordrecht: Springer, 2009. P. 3-19

15. Pantera A., Burgess P.J., Mosquera Losada R., Moreno G., López-Díaz M.L., Corroyer N. et al. Agroforestry for high value tree systems in Europe // Agroforestry System. 2018. No.92. P. 945-959. DOI: 10.1007/s10457-017-0181-7.

16. Rubio-Delgado J., Schnabel S., Burgess P.J. and Burbi S. Reduced grazing and changes in the area of agroforestry in Europe // Frontiers in Environmental Science. 2023. No.11. P.1258697. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1258697

17. Santoro A., Venturi M., Bertani R., Agnoletti M. A review of the role of forests and agroforestry systems in the FAO Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) programme // Forests. 2020. No.11(8). P.860.

18. Seserman D.M., Freese D., Swieter A., Langhof M., and Veste M. Trade-Off between Energy Wood and Grain Production in Temperate Alley-Cropping Systems: an Empirical and Simulation-Based Derivation of Land Equivalent Ratio // Agriculture. 2019. No.9. P.147. DOI: 10.3390/agriculture9070147

19. Shibu J. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview // Agroforestry Systems. 2009. No.76(1). P.1-10. DOI:10.1007/s10457-009-9229-7

20. Szot L.T. Fernabdes E.C.M., Sanchez P.A. Soilplant interactions in agro forestry systems // Agro forestry: Principles and Practice. – Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1991. – P. 127-152.

21. Toledo V.M., Barrera-Bassols N. La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. – Barcelona: Icaria Editorial, 2008.

22. Torralba M., Fagerholm N., Burgess, P.J., Moreno, G., Plieninger T. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis // Agriculture, Ecosystems, Environment. 2016. No.230. P.150-161. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002

23. Weiss G., Ludvig A., Živojinović I. Four decades of innovation research in forestry and the forest-based industries. systematic literature review // Forest Policy and Economics. 2020. Vol.120. 102288. P. 1-25.

24. Wilson M.H., Lovell S.T. Agroforestry – The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture // Sustainability. 2016. No.8(6). P. 574. https://doi.org/10.3390/SU8060574

25. Worku A. The Role of Agroforestry in Ecosystem Services and Mitigation of Climate Change // Vegetable Crops of Russia. 2024. No.4. P.111-119. DOI 10.18619/2072-9146-2024-4-111-119.

DOI: 10.58168/Forestry2025_797-802
УДК 330.15

РАЗВИТИЕ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ В РОССИИ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е.А.Колесниченко
д.э.н., профессор кафедры экономики и управления
Тамбовский государственный университет имени Г.Р.Державина, Тамбов

В.Л. Лопатин
аспирант кафедры менеджмента и экономики предпринимательства
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты анализа исследований российских авторов, посвященных изучению вопросов агромелиорации, в т.ч. в условиях лесостепи. Анализ публикаций показал, что современные исследования направлены на решение следующих вопросов: защиты земель от ветра, влагозадержания, снижения эолового выноса мелкозема и смыва почвы; разработку комплексного подхода к агролесоводству в системе охраны окружающей среды и рационального природопользования; исследование влияния агролесомелиоративных насаждений на стоимость сельскохозяйственных угодий; исследование механизмов и способов вовлечения в хозяйственный оборот неиспользуемых земель. Систематизация публикаций российских авторов в сфере агромелиорации, в которых отражена специфика Центральной лесостепи Европейской равнины, показала, что внимание авторов обращено на комплексные исследования, посвященные изучению эффектов от реализации агромелиоративных мероприятий; поиску инструментов приспособления к климатическим изменениям нивелирования антропогенного воздействия и повышения эффективности агропромышленного производства за счет агролесоводства; отдельное внимание уделено прикладным исследованиям по вопросам организации лесомелиоративных мероприятий и их результативности, а также специфике осуществления агролеосоводства на определенных территориях со специфическими природно-климатическими условиями.

Ключевые слова: агролесоводство, агролесомелиорация, исследования в сфере агролесомелиорации

DEVELOPMENT OF AGROFORESTRY IN RUSSIA: A RETROSPECTIVE ANALYSIS OF RESEARCH

E.A.Kolesnichenko

Doctor of Economics, Professor of the Department of Economics and Management
Tambov State University named after G.R.Derzhavin, Tambov

V.L. Lopatin
Postgraduate Student, Department of Management and Business Economics
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The article presents the results of an analysis of research by Russian authors devoted to the study of issues of agricultural land reclamation, including in the conditions of the

© Колесниченко Е.А., Лопатин В.Л., 2025

forest-steppe. The analysis of publications has shown that modern research is aimed at solving the following issues: protection of lands from wind, moisture retention, reduction of aeolian removal of fine earth and soil flushing; development of an integrated approach to agroforestry in the system of environmental protection and rational use of natural resources; study of the impact of agroforestry plantations on the cost of agricultural land; research of mechanisms and ways of involving unused lands in economic turnover. The systematization of publications by Russian authors in the field of agro-reclamation, which reflect the specifics of the Central forest-steppe of the European Plain, has shown that the authors' attention is focused on comprehensive research on the effects of implementing agro-reclamation measures; the search for tools to adapt to climate change to offset anthropogenic impact and increase the efficiency of agro-industrial production through agroforestry; Special attention is paid to applied research on the organization of forest reclamation measures and their effectiveness, as well as the specifics of agroforestry in certain areas with specific climatic conditions.

Keywords: agroforestry, agroforestry, research in the field of agroforestry

Исторически защитное лесоразведение возникло в России в XVII-XVIII веках. Как считает К.Н.Кулик [4], оно было связано с необходимостью выращивания товарной древесины. Первые работы, содержащие результаты исследований по применению лесных культур для уменьшения эрозии почв, относятся к 1822 г. В работах описаны работы по облесению овражно-балочных систем под руководством Ф.Х.Майера в с. Моховое. В последующем данные работы свелись к формированию Шатиловского леса (под руководством Т.Н. и И.И.Шатиловых) [6].

В большинстве научных исследований российских ученых [5] указывается, что научно-методические основы агромелиорации были заложены в конце XIX века после экспедиции В.В.Докучаева, которая была организована в 1890-х годах для решения задач степного защитного лесоразведения. В результате данного исследования, по мнению Е.С.Никулиной [10], был сформирован комплекс научно-практических положений по формированию степных агроландшафтов:

– выявлена специфика природно-климатических условий степной зоны;

– разработаны схемы / проекты размещения в степных зонах лесозащитных полос;

– доказана ключевая роль древесной и кустарниковой растительности в улучшении экологических условий ведения хозяйства.

В результате ряд исследователей-практиков (И.Я. Данилевский, В.Я. Ломиковский, В.П. Скаржинский, Н.К. Генко) стали создавать защитные лесные полосы вдоль инфраструктурных и природных объектов с целью их защиты [1].

После 1917 года агромелиорация получила комплексное развитие для преодоления эрозии, засух, ветров. Учеными Г.Н. Высоцким, Н.И.Сусом и многими другими проводились комплексные исследования [3], связанные с изучением характера влияния лесозащитных полос на изменение микроклимата территорий (изменение объемов снежных отложений, изменение динамики и объемов сточных вод, а также трансформация водного режима). Особое внимание уделялось вопросам повышения урожайности культур под влиянием лесозащитных полос. Так, Г.Н.Высоцкий исследовал гидрологическую роль леса; на основании опытов Х.С.Полянского разработал рекомендации по смешению различных древесных культур для формирования долговечных и устойчивых насаждений. А.В.Альбенский сформировал теоретический и практический базис защитного лесоразведения, в том числе разработал положения по размещению системы защитных насаждений и ассортименту древесных пород для полезащитных лесных полос и противоэрозионных насаждений [6].

В период до 1941 года было создано более 900 тыс.га защитных лесополос.

С 1948 года особое внимание уделялось проблемам обеспечения высокой урожайности, что нашло свое выражение в разработке плана формирования

полезащитных лесонасаждений [1]. Данный проект был реализован в СССР в период с 1950 по 1965 годы и стал самым масштабным проектом по лесоразведению.

С 1965 года до конца XX века внимание к вопросам агролесоводства снизилось, что обусловлено изменениями приоритетами в реализации внешней и внутренней политики, а также трансформационными изменениями.

К концу 1991 года на территории России было более 5,5 млн.га лесозащитных полос (без учета государственных), однако, уже к 2010 году сохранилось чуть более 2700 тыс.га насаждений [4].

Усиление внимания к вопросам агролесоводства характеризует период начала XXI века, что связано как с выходом не первый план проблематики повышения эффективности агропромышленного производства, так и возрастающее внимание к климатическим изменениям. Так, в 2012 году разработан проект Стратегии развития защитного лесоразведения в РФ на период до 2020 года, в котором отражена потребность не менее чем в 7 млн.га лесозащитных полос. Данная стратегия нашла свое продолжение в Стратегии [14], реализуемой до 2025 года, где определены стратегические основы развития защитного лесоразведения в России, обосновываются масштабы и объемы лесомелиоративных работ с учетом сложной экологической обстановки в агросфере страны; рассматриваются приоритетные направления защитного лесоразведения; освещается база проектирования лесомелиоративных мероприятий и обосновываются материально-техническое и кадровое обеспечение защитного лесоразведения; рассматриваются экономические, экологические и социальные аспекты защитного лесоразведения, как основополагающего мероприятия, направленного на сохранение плодородия почв и предотвращение их деградации и опустынивания.

Автором проведен анализ публикаций российских авторов по вопроскм агролесомелиорации и сделан вывод, что исследования российских авторов можно систематизировать и сгруппировать следующим образом:

1) исследования в период конца XIX - XX века, посвященные вопросам научного и прикладного обоснования целесообразности и содержания агромелиоративных мероприятий (Данилевского И.Я., Ломиковского В.Я., Скаржинского В.П., Генко Н.К., Полянского Х.С., Альбенского А.В., Высоцкого Г.Н., Суса Н.И., Собеневского К.Э., Морозова Г.Ф.) [3, 4];

2) исследования XXI века, которые можно сгруппировать на:

– комплексные, посвященные изучению эффектов от реализации агромелиоративных мероприятий (экономических, социальных, экологических и т.д.). В данном контексте следует отметить работы Ворку А., Михина В.И. и Михиной Е.А., Никулиной Е.С., Каштанова А.Н., Кулика К.Н. [7,4,10,11];

– посвященные вопросам поиска инструментов приспособления к климатическим изменениям нивелирования антропогенного воздействия (работы Павловского Е.С., Мальсагова И.И.), в данном ключе отдельно выделим работы, посвященные исследованию результативности реализации климатических проектов, где основой проектной деятельности выступает агролесоводство (Морковиной С.С., Матвеева С.М., Яковенко Н.В., Шешницана Т.Л. и Шешницана С.С.) [9,15];

– посвященные проблематике повышения эффективности агропромышленного производства за счет агролесоводства (Глазуновой Н.Н., Здоровцова И.П. и Дубовик Д.В., Ковды В.А., Редько Г.И., Метревели Ш.Р., Тимерьянова А.Ш., Морковиной С.С., Ивановой А.В. и Моисеева П.С., Барабанова А.Т. , Гаршинева Е.А. и Кочкаря М.М.) [2,8,12];

– исследования в сфере агромелиорации, в которых показаны результаты прикладных исследований по вопросам организации лесомелиоративных мероприятий и их результативности (Лариной Н.В., Черных Н.П.; Кретинина В. М., Родина А.Р., Танюкевича

В.В., Проездова П.Н. и Маштакова Д.А., Митрофанова Ю.И., Гуляева М.В. и Первушиной Н.К., Кулика К.Н., Ивонина В.М., Проездова П.Н. и Маштакова Д.А.) [3,4,5,6,11,13];

– исследования специфики осуществления агролесоводства на определенных территориях со специфическими природно-климатическими условиями (работы Дормидонтовой Н., Проездова П. и Розанова А. по агромелиорации в районе Приволжской возвышенности; Корнеевой Е.А. и Беляевым А.И. изучены принципы и эколого-экономическая результативность создания агролесомелиоративных систем в засушливых условиях Нижнего Поволжья; исследования Щукина С., Голубевой А., Дороховой В. и Дугина А. по вопросам агролеосоводства на землях Ярославской и Воронежской областей; Турусова В.И., Лепехина А.А. и Чеканышкина А.С. по вопросам лесной мелиорации степных ландшафтов; Мусиевского А.Л., Плужникова А.А., Коробова Н.А., Михина В.И. и Михиной Е.А., Рыбаковой Н.А., Харченко Н.Н. и Харченко Н.А., Кружкова Н.К., Лобкова В.Т., Наполова В.В. по вопросам развития агролесоводства в Центральной лесостепи).

Таким образом, защитное лесоразведение возникло в России в XVII-XVIII веках. Первые работы, содержащие результаты исследований по применению лесных культур для уменьшения эрозии почв, относятся к 1822 г. Научно-методические основы агромелиорации были заложены в конце XIX века после экспедиции В.В.Докучаева. После 1917 года агромелиорация получила комплексное развитие для преодоления эрозии, засух, ветров. В период до 1941 года было создано более 900 тыс.га защитных лесополос. С 1948 по 1965 годы реализован самый масштабный проект по лесоразведению в лесостепи. К 2010 году сохранилось чуть более 2700 тыс.га насаждений.

В российской практике наряду с категорией «агролесоводство» применяется категория «агромелиорация». В обобщенном смысле агролесоводство – это система эффективного землепользования, а агромелиорация – совокупность мероприятий, направленных на улучшение условий местности.

Анализ публикаций по вопросам агромелиорации показал, что современные исследования направлены на:

– решение вопросов защиты земель от ветра, влагозадержания, снижения эолового выноса мелкозема и смыва почвы;

– разработку комплексного подхода к агролесоводству в системе охраны окружающей среды и рационального природопользования;

– исследование влияния агролесомелиоративных насаждений на стоимость сельскохозяйственных угодий;

– механизмы и способы вовлечения в хозяйственный оборот неиспользуемых земель.

Систематизация публикаций российских авторов в сфере агромелиорации, в которых отражена специфика Центральной лесостепи Европейской равнины, показала, что внимание авторов обращено на:

– комплексные, посвященные изучению эффектов от реализации агромелиоративных мероприятий;

– посвященные вопросам поиска инструментов приспособления к климатическим изменениям нивелирования антропогенного воздействия, в данном ключе отдельно выделим работы, посвященные исследованию результативности реализации климатических проектов, где основой проектной деятельности выступает агролесоводство;

– посвященные проблематике повышения эффективности агропромышленного производства за счет агролесоводства;

– исследования в сфере агромелиорации, в которых показаны результаты прикладных исследований по вопросам организации лесомелиоративных мероприятий и их результативности;

– исследования специфики осуществления агролеосоводства на определенных территориях со специфическими природно-климатическими условиями.

Список литературы

1. Защитные государственные лесополосы. – Режим доступа: https://ussrnaturetransformation.tilda.ws/lesoposadki (дата обращения 01.06.2025)

2. Кочкарь М.М., Барабанов А.Т., Гаршинев Е.А. Принципы и приемы управления эрозионно-гидрологическим режимом водосборов // Известия оренбургского государственного аграрного университета. 2004. №3(3). С82-83.

3. Кретинин В. М. Агролесоводство. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. – 268 с.

4. Кулик К.Н. Развитие агролесомелиоративной науки в России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2014. №3(35). С.1-8.

5. Ларина Н.В., Черных Н.П. Агролесоводство и защитные полосы: роль в системе устойчивого сельского хозяйства // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2024. Т.11. № 2(98). С.97-99. DOI:10.24412/2500-1000-2024-11-2-97-99

6. Маштаков Д.А., Проездов П.Н. Агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними. – Саратов, 2014. – 121 с.

7. Михина Е.А., Михин В.И. Повышение полезащитными насаждениями продуктивности искусственных фитоценозов в условиях Центральной лесостепи России // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. Т. 8. № 1 (48). С. 109-113.

8. Морковина С.С., Иванова А.В., Писарева С.В., Манмарева В.В., Прядилина Н.К. Экономическое обоснование новых технологических решений по лесовосстановлению гарей в Центральной лесостепи Российской Федерации // Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14. № 4 (56). С. 157-171.

9. Морковина С.С., Матвеев С.М., Яковенко Н.В. и др. Научно-методические основы сокращения выбросов и увеличения поглощения парниковых газов лесами при осуществлении лесохозяйственных мероприятий и проектной деятельности (лесоклиматических проектов) в субъектах Российской Федерации. – Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. – 239 с.

10. Никулина Е.С. Роль агролесомелиорации в изменении экологических условий почвообразования и произрастания сельскохозяйственных культур // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 5. – Режим доступа: https://web.snauka.ru/issues/2017/05/82427 (дата обращения: 04.07.2025).

11. Проездов П.Н., Маштаков Д.А. Агролесомелиорация. – Саратов: Амирит, 2016. – 472 с. ISBN: 978-5-9908839-3-2.

12. Редько Г.И. Лесные культуры и защитное лесоразведение / Г.И. Редько, М.Д. Мерзленко, Н.А. Бабич, Ю.И. Данилов. — М.: Издат. центр «Академия», 2008. – 393 с.

13. Родин А. Р. Лесомелиорация ландшафтов / А. Р. Родин, С. А. Родин. — М.: МГУЛ, 2005. – 164 с.

14. Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года, переработанная и дополненная / К.Н. Кулик [и др.]; ФНЦ агроэкологии РАН. – Волгоград, 2018. – 36 с.

15. Шешницан Т.Л., Матвеев С.М., Шешницан С.С. Влияние фитоценоза на пространственную изменчивость запасов углерода в лесных почвах Центральной лесостепи // Лесотехнический журнал. 2025. Т. 15. № 1 (57). С. 38-58.

References

1. Protective state forest belts. – Access mode: https://ussrnaturetransformation.tilda.ws/lesoposadki (accessed 06.01.2025)

2. Kochkar M.M., Barabanov A.T., Garshinev E.A. Principles and techniques of management of the erosion and hydrological regime of catchments // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2004. No. 3(3). P.82-83.

3. Kretinin V. M. Agroforestry. Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2021. 268 p.

4. Kulik K.N. The development of agroforestry science in Russia // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo complex. 2014. No. 3(35). P.1-8.

5. Larina N.V., Chernykh N.P. Agroforestry and protective strips: a role in the system of sustainable agriculture // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2024. Vol.11. No. 2(98). P.97-99. DOI:10.24412/2500-1000-2024-11-2-97-99

6. Mashtakov D.A., Proezdov P.N. Agroforestry, protective afforestation and landscaping of settlements, forest fires and their control. – Saratov, 2014. – 121 p.

7. Mikhina E.A., Mikhin V.I. Increasing the productivity of artificial phytocenoses by protective plantings in the conditions of the Central forest-steppe of Russia // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2020. Vol. 8. No. 1 (48). P. 109-113.

8. Morkovina S.S., Ivanova A.V., Pisareva S.V., Manmareva V.V., Pryadilina N.K. Economic justification of new technological solutions for reforestation of harem forests in the Central forest-steppe of the Russian Federation // Forestry Engineering Journal. 2024. Vol. 14. No. 4 (56). P. 157-171.

9. Morkovina S.S., Matveev S.M., Yakovenko N.V. and others. Scientific and methodological foundations for reducing emissions and increasing the absorption of greenhouse gases by forests in the implementation of forestry measures and project activities (forest climate projects) in the subjects of the Russian Federation. Voronezh: VGLTU named after G.F. Morozov, 239 p.

10. Nikulina E.S. The role of agroforestry in changing the environmental conditions of soil formation and crop growth // Modern scientific research and innovation. 2017. No. 5. – Access mode: https://web.snauka.ru/issues/2017/05/82427 (date of reference: 07.04.2025).

11. Proezdov P.N., Mashtakov D.A. Agroforestry. Saratov: Amirit, 2016. 472 p. ISBN: 978-5-9908839-3-2.

12. Redko G.I. Forest crops and protective afforestation / G.I. Redko, M.D. Merzlenko, N.A. Babich, Yu.I. Danilov. Moscow: Izdat. Academy Center, 2008. 393 p.

13. Rodin A. R. Forest reclamation of landscapes / A. R. Rodin, S. A. Rodin. — M.: MGUL, 2005. – 164 p.

14. Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period up to 2025, revised and supplemented / K.N. Kulik [et al.]; Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, 2018. – 36 p.

15. Sheshnitsan T.L., Matveev S.M., Sheshnitsan S.S. The influence of phytocenosis on the spatial variability of carbon reserves in forest soils of the Central forest steppe // Forestry Journal. 2025. Vol. 15. № 1 (57). P. 38-58.

DOI: 10.58168/Forestry2025_803-810
УДК 629.735.001.5

ВЫЗОВЫ МАСШТАБИРУЕМОСТИ, ЭТИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ, И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРИМЕНЕНИИ БПЛА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕСНОГО МОНИТОРИНГА

О.Е. Коченгина
студент, *Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Россия*

Аннотация. Комплексный мониторинг лесов имеет решающее значение для устойчивого Управления ресурсами, и БПЛА предлагают значительные преимущества. Однако широкое распространение технологии БПЛА поднимает важные этические и правовые вопросы. В данной статье анализируются эти проблемы, с упором на конфиденциальность, безопасность данных и соблюдение нормативных требований. Определены будущие направления исследований для обеспечения ответственного и эффективного развертывания БПЛА для мониторинга лесов.

Ключевые слова: БПЛА, мониторинг леса, ресурсы, перспективы

SCALABILITY CHALLENGES, ETHICAL AND LEGAL CONSIDERATIONS, AND RESEARCH DIRECTIONS IN THE APPLICATION OF UAVs FOR COMPREHENSIVE FOREST MONITORING. IN THIS CONCLUDING ARTICLE

O.E. Kochengina
Student, *St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, Russia*

Abstract.
Comprehensive forest monitoring is crucial for sustainable resource management, and UAVs offer significant advantages. However, the widespread adoption of UAV technology raises important ethical and legal questions. This article analyzes these challenges, focusing on privacy, data security, and regulatory compliance. Future research directions are identified to ensure responsible and effective deployment of UAVs for forest monitoring.

Keywords: UAVs, forest monitoring, resources, outlook

Учитывая возрастающую значимость лесных экосистем в контексте глобальных экологических и экономических вызовов, эффективный мониторинг лесных ресурсов приобретает первостепенное значение. Традиционные методы мониторинга, равно как и использование спутниковых платформ, зачастую характеризуются ограниченным пространственным разрешением, временной задержкой в получении данных, а также значительными финансовыми затратами. В этой связи, широкое распространение технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляет собой перспективное направление, предлагающее возможность оперативного и высокодетализированного мониторинга. Однако, несмотря на потенциальные преимущества, масштабирование применения БПЛА в лесном мониторинге сопряжено с рядом существенных проблем, включая технологические ограничения, этические дилеммы и отсутствие четкой нормативно-правовой базы. Настоящее исследование направлено на комплексный анализ вызовов и ограничений, препятствующих эффективному масштабированию применения БПЛА для комплексного лесного мониторинга, а также на

© Коченгина О.Е., 2025

определение перспективных направлений дальнейших исследований в данной области, с особым акцентом на этические и правовые аспекты. В заключение, будут проанализированы вызовы и ограничения масштабируемости применения БПЛА, этические и правовые вопросы, а также предложены перспективные направления развития данной области.

Масштабирование применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для комплексного мониторинга лесных экосистем представляет собой сложную многоаспектную задачу, требующую преодоления ряда существенных технических, экономических и организационных препятствий. Масштабирование операций предполагает расширение возможностей применения БПЛА для мониторинга лесов на более крупные территории, увеличение частоты проведения мониторинга, а также адаптацию к различным типам лесных экосистем, отличающихся по своей структуре, видовому составу и экологическим характеристикам. Реализация подобного масштабирования сталкивается с рядом серьезных технических вызовов. Одним из ключевых ограничений является ограниченный срок службы батареи и, как следствие, малое время полета БПЛА [1]. Ограниченная выносливость БПЛА непосредственно влияет на площадь лесного массива, которую можно эффективно охватить за один полет, что существенно затрудняет мониторинг обширных территорий. Кроме того, критическим фактором является эффективная обработка и хранение огромных объемов данных, генерируемых БПЛА. Высокое разрешение получаемых изображений и использование различных сенсоров (например, мультиспектральных и LiDAR) приводят к экспоненциальному росту объемов данных, требующих оперативной обработки и надежного хранения. Решение этой проблемы требует разработки и внедрения эффективных конвейеров обработки данных, а также использования современных решений для хранения, включая облачные вычисления и технологии искусственного интеллекта, позволяющие автоматизировать анализ данных и извлекать полезную информацию.

Продолжая анализ технических вызовов, следует отметить проблемы, связанные с обеспечением автономности и навигации БПЛА, особенно в сложных ландшафтах. Автономный полет, обход препятствий и стабильная работа в густых лесах и горных районах представляют собой серьезную техническую задачу, требующую разработки передовых алгоритмов навигации и систем управления полетом. Ограниченная видимость, сложный рельеф и наличие большого количества препятствий (деревья, скалы) затрудняют точное позиционирование и безопасное выполнение полетных заданий в автономном режиме.

Интеграция различных датчиков, таких как LiDAR и гиперспектральные камеры, также сопряжена с техническими сложностями. Для получения комплексной и достоверной информации о лесном массиве необходимо обеспечить эффективную интеграцию данных, полученных с разных сенсоров, а также гарантировать совместимость форматов и стандартов данных. Проблемы калибровки, синхронизации и геопривязки данных требуют разработки специализированных программных решений и алгоритмов обработки.

Операции с БПЛА в значительной степени зависят от погодных условий. Ветер, дождь, туман и другие неблагоприятные погодные явления могут существенно ограничивать возможности применения БПЛА, снижать качество получаемых данных и даже создавать угрозу безопасности полетов. Разработка устойчивых к погодным условиям БПЛА и сенсоров, а также создание систем прогнозирования и оперативного реагирования на изменения погоды, являются важными направлениями для повышения надежности и эффективности лесного мониторинга с использованием БПЛА[2].

Наряду с техническими вызовами, следует учитывать и экономические аспекты. Первоначальные инвестиции и текущие затраты на обслуживание БПЛА, сенсоров и необходимого программного обеспечения могут быть весьма значительными. Высокая стоимость оборудования и обслуживания ограничивает возможности внедрения технологий БПЛА, особенно для небольших организаций и исследовательских групп.

Снижение стоимости оборудования, разработка бюджетных сенсоров и создание экономически эффективных моделей эксплуатации БПЛА являются важными факторами для обеспечения широкого доступа к технологиям лесного мониторинга.

Экономические вызовы также включают операционные расходы, связанные с обучением пилотов, обработкой полученных данных и обеспечением материально-технической поддержки. Подготовка квалифицированного персонала, способного эффективно управлять БПЛА, обрабатывать данные дистанционного зондирования и обеспечивать техническое обслуживание оборудования, требует значительных финансовых вложений. Разработка эффективных программ обучения, создание центров обработки данных и обеспечение бесперебойной поставки запасных частей и расходных материалов являются важными факторами для обеспечения устойчивой работы систем мониторинга на основе БПЛА.

Наряду с экономическими и техническими аспектами, необходимо учитывать логистические вызовы, связанные с развертыванием и восстановлением БПЛА, особенно в отдаленных и труднодоступных районах. Транспортировка оборудования, организация взлетно-посадочных площадок, обеспечение безопасности полетов в условиях сложного рельефа и отсутствия развитой инфраструктуры требуют тщательного планирования и координации [3]. Разработка мобильных комплексов, обеспечивающих автономное развертывание и восстановление БПЛА, а также использование специализированных транспортных средств, способных преодолевать труднопроходимую местность, являются важными направлениями для расширения возможностей применения БПЛА в лесном мониторинге.

Создание и поддержание наземных станций управления для связи с БПЛА и передачи полученных данных также представляет собой логистическую задачу. Обеспечение надежной связи, организация электропитания, защита от несанкционированного доступа и обеспечение комфортных условий для работы операторов требуют значительных усилий и затрат. Разработка мобильных и автономных станций управления, использующих спутниковые каналы связи и возобновляемые источники энергии, является перспективным направлением для обеспечения гибкости и оперативности лесного мониторинга с использованием БПЛА.

Не менее важными являются этические и правовые аспекты применения БПЛА для лесного мониторинга. Этическое измерение включает в себя ряд сложных вопросов, требующих тщательного рассмотрения. Одним из наиболее острых является проблема конфиденциальности. БПЛА, оснащенные камерами высокого разрешения, способны получать изображения и видео, детализация которых может вызывать опасения по поводу неприкосновенности частной жизни лиц, проживающих или работающих в лесных районах. Необходимо разработать и внедрить меры, обеспечивающие защиту личной информации и предотвращающие несанкционированный доступ к данным.

Беспокойство для дикой природы также является важным этическим соображением. Шум и визуальное присутствие БПЛА могут оказывать негативное воздействие на популяции диких животных, нарушая их естественное поведение и миграционные пути. При планировании и проведении мониторинга необходимо учитывать особенности поведения животных в данном регионе и принимать меры для минимизации негативного воздействия.

Безопасность данных и защита прав собственности на данные также представляют собой важные этические и правовые проблемы. Необходимо обеспечить защиту конфиденциальных данных от несанкционированного доступа, утечек и злоупотреблений. Четкое определение прав собственности на данные, полученные с помощью БПЛА, а также разработка механизмов для обмена и использования данных с соблюдением прав всех заинтересованных сторон являются необходимыми условиями для обеспечения устойчивого и ответственного применения технологий БПЛА в лесном мониторинге. Нельзя забывать и о воздействии на окружающую среду, которое оказывает производство

и эксплуатация БПЛА. Использование ископаемого топлива, утилизация батарей и производство электронных компонентов создают экологическую нагрузку, которую необходимо учитывать при оценке эффективности и целесообразности применения БПЛА. Разработка экологически чистых БПЛА, использующих возобновляемые источники энергии и биоразлагаемые материалы, является важным направлением для снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Правовые и регуляторные рамки, определяющие применение БПЛА, также являются важным аспектом, требующим детального рассмотрения. Правила воздушного пространства, регулирующие эксплуатацию БПЛА в различных странах и регионах, значительно различаются. Например, в США действует Федеральное управление гражданской авиации (FAA), а в Европе – Европейское агентство по безопасности полетов (EASA), каждое из которых устанавливает свои требования к регистрации БПЛА, квалификации пилотов и условиям выполнения полетов. Особое внимание следует уделить обсуждению вопросов, связанных с операциями в пределах прямой видимости (VLOS) и за пределами прямой видимости (BVLOS). Операции BVLOS открывают новые возможности для мониторинга больших территорий, но требуют соблюдения более строгих требований безопасности и наличия соответствующих разрешений [4].

Соответствие законам о защите данных, таким как Общий регламент по защите данных (GDPR) в Европейском Союзе, является обязательным условием для любого применения БПЛА, связанного со сбором, хранением и обработкой персональных данных. Необходимо обеспечить соблюдение принципов законности, справедливости и прозрачности при обработке данных, а также предоставить субъектам данных возможность контролировать свои персональные данные и получать информацию о целях и способах их обработки.

Правила, касающиеся использования БПЛА над частной собственностью, также требуют четкого определения. Во многих юрисдикциях существуют ограничения на выполнение полетов над частной собственностью без согласия владельца, а также на сбор и использование данных, полученных в результате таких полетов. Необходимо разработать механизмы для урегулирования споров и обеспечения соблюдения прав собственности при использовании БПЛА.

Юридические обязательства, связанные с операциями БПЛА, и необходимость страхования также являются важными аспектами. Операторы БПЛА несут ответственность за любой ущерб, причиненный в результате их действий, и обязаны иметь страховой полис, покрывающий возможные риски. Разработка четких правил и процедур, определяющих ответственность операторов БПЛА, а также создание эффективных механизмов страхования рисков, являются необходимыми условиями для обеспечения безопасности и устойчивости применения технологий БПЛА.

Обеспечение соблюдения правил и мониторинг операций БПЛА представляют собой сложную задачу. Необходимы эффективные механизмы контроля и надзора за деятельностью операторов БПЛА, а также применение санкций в случае нарушения установленных правил и требований. Разработка систем автоматического мониторинга полетов БПЛА, использование технологий обнаружения и идентификации БПЛА, а также создание эффективных каналов обмена информацией между регулирующими органами и операторами БПЛА являются важными направлениями для повышения эффективности контроля и надзора.

Для решения указанных проблем необходимо разработать этические руководства и кодексы поведения для операторов БПЛА. Эти руководства должны содержать четкие рекомендации по соблюдению конфиденциальности, обеспечению безопасности полетов, защите прав собственности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Обучение и сертификация операторов БПЛА, а также внедрение систем внутреннего контроля качества, являются важными шагами для обеспечения ответственного и этичного применения технологий БПЛА.

Перспективным направлением повышения эффективности и расширения возможностей мониторинга лесных экосистем представляется внедрение технологий на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Дальнейший прогресс в этой области требует преодоления ряда технологических ограничений и активного развития инновационных подходов, в частности, совершенствования характеристик аккумуляторных батарей, датчикового оборудования и алгоритмов обработки данных. Ключевым фактором, определяющим успешность масштабирования применения БПЛА, является разработка улучшенных технологий аккумуляторов, обеспечивающих более высокую плотность энергии и более длительный срок службы [5]. Увеличение времени автономной работы БПЛА позволит существенно увеличить площадь охвата за один полет, повысить эффективность мониторинга и снизить операционные расходы.

Разработка усовершенствованных датчиков является ключом к детализированному и эффективному лесному мониторингу, представляя собой одно из наиболее перспективных направлений в применении БПЛА для комплексного мониторинга лесных экосистем. Современные датчики, такие как LiDAR и гиперспектральные камеры, открывают новые возможности для получения высокоточной и детальной информации. LiDAR позволяет создавать трехмерные модели лесного покрова, измерять высоту деревьев, определять плотность крон, оценивать запасы древесины и создавать карты рельефа. Направления развития включают миниатюризацию и снижение энергопотребления LiDAR-сенсоров, разработку алгоритмов для автоматической классификации типов растительности и интеграцию LiDAR-данных с данными других сенсоров. Перспективы включают создание высокоточных карт запасов древесины, мониторинг роста лесных насаждений и выявление участков с риском ветровала или снеголома. Гиперспектральные камеры позволяют определять видовой состав деревьев, оценивать их физиологическое состояние и выявлять признаки болезней и вредителей. Развитие включает разработку компактных и недорогих гиперспектральных камер, создание библиотек спектральных сигнатур и разработку алгоритмов для классификации лесной растительности. Перспективы включают мониторинг состояния лесов в условиях изменения климата и оптимизацию применения удобрений. Мультисенсорная съемка, объединяющая данные с различных датчиков, позволяет получать более комплексную информацию. Развитие включает разработку алгоритмов для обработки и интеграции данных, создание платформ для визуализации мультисенсорных данных и разработку методов машинного обучения. Перспективы включают комплексную оценку состояния лесных экосистем и разработку стратегий управления лесными ресурсами. Миниатюризация и повышение точности датчиков снизят вес БПЛА, увеличат время полета и повысят качество данных, используя новые материалы и микроэлектромеханические системы [6]. Разработка усовершенствованных датчиков является критически важным направлением для развития применения БПЛА в лесном мониторинге, позволяя получать уникальную информацию, необходимую для принятия управленческих решений и обеспечения устойчивого управления лесными ресурсами. Дальнейшие исследования и разработки повысят эффективность и точность лесного мониторинга, а также расширят спектр решаемых задач.

Технология "роя" БПЛА представляет собой перспективное и революционное направление для масштабного и эффективного лесного мониторинга, позволяющее преодолеть ограничения, присущие одиночным аппаратам (рисунок 1).

Рисунок 1

Применение группы беспилотных летательных аппаратов, работающих согласованно, открывает новые возможности для сбора данных, охвата больших территорий и решения сложных задач. Преимущества "ройного" подхода включают масштабируемость и скорость, обеспечивая одновременный мониторинг обширных лесных массивов и сокращая время обследования. Повышенное пространственное разрешение достигается за счет распределенного сбора данных, обеспечивая более детальную информацию. Гибкость и адаптивность позволяют адаптировать "рой" к различным условиям и задачам. "Рой" БПЛА позволяет одновременно выполнять картографирование, обнаружение пожаров, оценку ущерба и мониторинг незаконных рубок. Вызовы управления "роем" включают разработку алгоритмов координации и коммуникации между аппаратами. Автономность и принятие решений требуют разработки алгоритмов машинного обучения. Надежность и отказоустойчивость обеспечивают продолжение выполнения задачи при выходе из строя аппаратов. Безопасность требует разработки систем обнаружения столкновений. Направления исследований включают разработку алгоритмов роевого интеллекта, систем коммуникации, автономной навигации и систем энергоменеджмента. Технология "роя" БПЛА является прорывом в лесном мониторинге. Разработка эффективных алгоритмов и обеспечение безопасности полетов являются ключевыми факторами для внедрения этой технологии, позволяя повысить эффективность мониторинга и обеспечить устойчивое управление лесными ресурсами. Периферийные вычисления, предполагающие обработку данных непосредственно на борту БПЛА, позволяют сократить требования к передаче данных и повысить оперативность получения информации. Передача больших объемов данных с БПЛА на наземные станции требует значительной пропускной способности каналов связи и может быть затруднена в отдаленных районах. Обработка данных непосредственно на борту БПЛА позволяет передавать только результаты анализа, существенно сокращая объем передаваемой информации и повышая оперативность принятия решений. Для периферийных вычислений необходимы специализированные стандартизированные протоколы, оптимизированные для обработки данных с ограниченными ресурсами [7]. Важно создание открытого ПО для БПЛА, стимулирующего разработку инновационных алгоритмов. Это позволит автоматизировать решение задач: быстрое обнаружение пожаров по тепловизору или выявление болезней по мультиспектральным данным, оперативно предоставляя информацию и минимизируя задержки.

Проведенный анализ выявил ряд существенных проблем и ограничений, препятствующих масштабированию применения БПЛА для комплексного лесного мониторинга. К ним относятся технические аспекты, такие как ограниченный срок службы аккумуляторных батарей и трудности, связанные с обработкой больших массивов данных, экономические факторы, обусловленные высокой стоимостью оборудования и сопутствующих услуг, а также этические и правовые вопросы, касающиеся защиты конфиденциальной информации и нормативного регулирования использования

воздушного пространства. Принимая во внимание необходимость соблюдения этических норм и разработки четкой нормативно-правовой базы, следует отметить перспективность направлений исследований, ориентированных на совершенствование технологий аккумуляторных батарей и сенсорного оборудования, а также применение алгоритмов искусственного интеллекта и парадигмы периферийных вычислений. Реализация потенциала БПЛА в лесном хозяйстве является критически важной для устойчивого управления лесными ресурсами и их эффективной охраны. В этой связи, дальнейшие исследования должны быть сфокусированы на интеграции данных, полученных посредством БПЛА, с данными, поступающими из других источников информации (например, наземные наблюдения, спутниковые снимки), с целью создания комплексных систем поддержки принятия решений, способствующих эффективному управлению лесным фондом.

Список литературы

1. АЛЬБАТРОС. Мониторинг лесных пожаров с БПЛА. URL: https://www.alb.aero/about/articles/monitoring-lesnykh-pozharov-s-bpla/?ysclid=mewjvnohdj120919553 (дата обращения 13.08.2025).
2. GEOSALUT. Мониторинг лесных массивов с беспилотника. URL: https://www.geosalut.ru/bpla/monitoring-lesnyh-ugodij/monitoring-lesnyh-ugodij-s-primeneniem-bpla/?ysclid=mewk6u0qxs569059225 (дата обращения 16.08.2025).
3. GEOSCAN. Беспилотные решения для современного лесоводства. URL: https://www.geoscan.ru/ru/blog/bespilotnye-resheniya-dlya-sovremennogo-lesovodstva?ysclid=mewhkdr9jw626445239 (дата обращения 20.08.2025).
4. GEOSCAN. Эффективный мониторинг лесных пожаров с БАС. URL: https://www.geoscan.ru/ru/blog/effektivnyy-monitoring-lesnykh-pozharov-s-bas?ysclid=mewk3ujus9965604766 (дата обращения 20.08.2025).
5. СОВЗОНД. Аэрокосмический мониторинг лесного хозяйства. URL: https://sovzond.ru/industry-solutions/forestry/?ysclid=mewkhkl9zf922699461 (дата обращения 22.08.2025).
6. Forest complex.ru. Портал о лесозаготовке и деревообработке. Как системы лесного мониторинга помогают защищать леса URL: https://forestcomplex.ru/forestry/kak-sistemy-lesnogo-monitoringa-pomogajut-zashhishhat-lesa/?ysclid=mewkemxa3e988991793 (дата обращения 23.08.2025).
7. Центр экологических экспертиз. Экологическая экспертиза жизненного пространства человека. Лесной мониторинг URL: https://ekoex.ru/lesnoj-monitoring/?ysclid=mewkbxnez2203661777 (дата обращения 28.08.2025).

References

1. ALBATROS. (n.d.). *Monitoring lesnykh pozharov s BPLA* [Forest fire monitoring with UAVs]. Retrieved August 13, 2025. URL: https://www.alb.aero/about/articles/monitoring-lesnykh-pozharov-s-bpla/?ysclid=mewjvnohdj120919553.
2. GEOSALUT. (n.d.). *Monitoring lesnykh massivov s bespilotnika* [Monitoring forest areas with drones]. Retrieved August 16, 2025. URL: https://www.geosalut.ru/bpla/monitoring-lesnyh-ugodij/monitoring-lesnyh-ugodij-s-primeneniem-bpla/?ysclid=mewk6u0qxs569059225.
3. GEOSCAN. (n.d.). *Bespilotnye resheniya dlya sovremennogo lesovodstva* [Unmanned solutions for modern forestry]. Retrieved August 20, 2025. URL: https://www.geoscan.ru/ru/blog/bespilotnye-resheniya-dlya-sovremennogo-lesovodstva?ysclid=mewhkdr9jw626445239.
4. GEOSCAN. (n.d.). *Effektivnyy monitoring lesnykh pozharov s BAS* [Effective forest fire monitoring with UAVs]. Retrieved August 20, 2025.

URL: https://www.geoscan.ru/ru/blog/effektivnyy-monitoring-lesnykh-pozharov-s-bas?ysclid=mewk3ujus9965604766.

5. SOVZOND. (n.d.). *Aerokosmicheskiy monitoring lesnogo khozyaystva* [Aerospace monitoring of forestry]. Retrieved August 22, 2025. URL: https://sovzond.ru/industry-solutions/forestry/?ysclid=mewkhkl9zf922699461.

6. Forestcomplex.ru. (n.d.). *Kak sistemy lesnogo monitoringa pomogayut zashchishchat' lesa* [How forest monitoring systems help protect forests]. Retrieved August 23, 2025. URL: https://forestcomplex.ru/forestry/kak-sistemy-lesnogo-monitoringa-pomogajut-zashhishhat-lesa/?ysclid=mewkemxa3e988991793.

7. Tsentr ekologicheskikh ekspertiz. (n.d.). *Lesnoy monitoring* [Forest monitoring]. Retrieved August 28, 2025. URL: https://ekoex.ru/lesnoj-monitoring/?ysclid=mewkbxnez2203661777.

DOI: 10.58168/Forestry2025_811-817
УДК 630 232.1+681.536.5

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ: ОТ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ДО ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

О.Е. Коченгина
студент, *Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Россия*

Аннотация. В статье рассматриваются перспективные технологии искусственного лесовосстановления, направленные на повышение эффективности и устойчивости лесных насаждений. Особое внимание уделяется микроклональному размножению как способу получения генетически однородного посадочного материала, технологиям точной посадки, оптимизирующим условия для приживаемости саженцев, и дистанционному мониторингу, обеспечивающему оперативный контроль за состоянием лесов. Анализируются преимущества и ограничения каждой технологии, а также перспективы их интеграции для создания комплексных систем лесовосстановления. Подчеркивается важность разработки экономически эффективных и адаптированных к местным условиям решений для успешного внедрения инноваций в лесное хозяйство.
Ключевые слова: Искусственное лесовосстановление, микроклональное размножение, точная посадка, дистанционный мониторинг, лесные технологии, устойчивое лесоводство.

PROMISING ARTIFICIAL REFORESTATION TECHNOLOGIES: FROM MICROPROPAGATION TO REMOTE MONITORING

O.E. Kochengina
Student, *St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, Russia*

Abstract. The article examines promising artificial reforestation technologies aimed at increasing the efficiency and sustainability of forest plantations. Particular attention is paid to micropropagation as a method for obtaining genetically uniform planting stock, precision planting technologies optimizing conditions for seedling survival, and remote monitoring providing operational control over the state of forests. The advantages and limitations of each technology are analyzed, as well as the prospects for their integration to create comprehensive reforestation systems. The importance of developing cost-effective and locally adapted solutions for the successful implementation of innovations in forestry is emphasized.
Keywords: Artificial reforestation, micropropagation, precision planting, remote monitoring, forest technologies, sustainable forestry.

Леса играют ключевую роль в поддержании экологического равновесия планеты, оказывая существенное влияние на климат, сохранение биоразнообразия и обеспечение стабильности гидрологического режима. Помимо экологических функций, леса обладают значительным экономическим потенциалом, являясь источником древесины и других лесных ресурсов, а также способствуя развитию рекреации и туризма. Социальная значимость лесов проявляется в их роли в сохранении культурного наследия, обеспечении занятости населения и поддержании традиционного образа жизни коренных народов. Однако естественное возобновление лесов все чаще сталкивается с серьезными

© Коченгина О. Е., 2025

проблемами, обусловленными антропогенным воздействием и изменением климата. Незаконные и неконтролируемые вырубки, масштабные лесные пожары, вызванные повышением температуры и засушливостью, деградация почв вследствие интенсивного землепользования и распространение инвазивных видов растений и животных – все эти факторы существенно затрудняют естественное восстановление лесных экосистем. В связи с этим, искусственное лесовосстановление приобретает все большее значение как инструмент восполнения потерь лесных площадей, повышения продуктивности лесных насаждений и адаптации лесов к изменяющимся климатическим условиям. Целью данного обзора является рассмотрение перспективных технологий, способных существенно повысить эффективность искусственного лесовосстановления, обеспечив более быстрое и устойчивое восстановление лесных экосистем. В частности, в статье будут рассмотрены методы микроклонального размножения, позволяющие получать генетически однородный и высококачественный посадочный материал, технологии точной посадки, оптимизирующие процесс высадки саженцев с учетом конкретных условий участка, и методы дистанционного мониторинга, обеспечивающие оперативный контроль за состоянием лесных насаждений и своевременное выявление возникающих проблем [1].

Микроклональное размножение (рисунок 1), также известное как in vitro размножение или микропропагация, представляет собой комплекс биотехнологических методов, позволяющих получать генетически идентичные копии растений в искусственной среде, свободной от микроорганизмов. Сущность метода заключается в использовании небольших частей растения, таких как почки, побеги, или даже отдельные клетки, которые помещаются в питательную среду, содержащую необходимые гормоны и питательные вещества. Под воздействием этих факторов происходит дедифференциация клеток, то есть возвращение их к эмбриональному состоянию, после чего они начинают активно делиться и формировать так называемый каллус – недифференцированную массу клеток. Затем, путем изменения состава питательной среды, стимулируется органогенез – формирование побегов и корней из каллуса, что приводит к образованию полноценных растений-клонов.

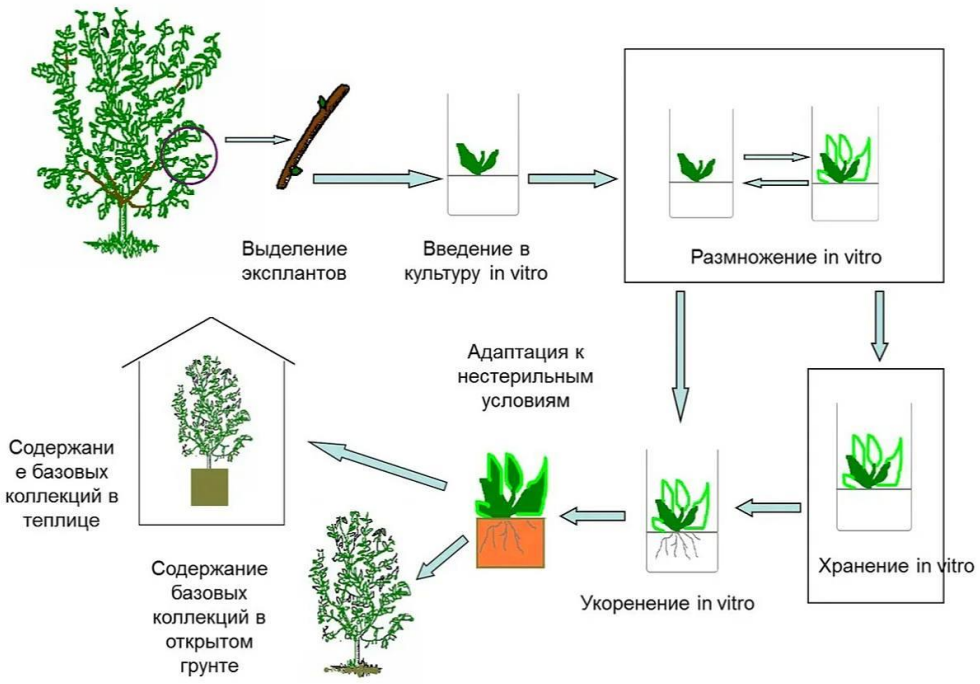


Рисунок 1

Процесс микроклонального размножения состоит из нескольких последовательных этапов, включающих выбор и подготовку исходного растительного материала (экспланта), стерилизацию, инициацию каллуса или побегов, размножение, укоренение и адаптацию

растений к нестерильным условиям [2]. Основными преимуществами метода являются возможность получения большого количества генетически однородного посадочного материала в короткие сроки, оздоровление растений от вирусных и бактериальных инфекций, а также возможность размножения видов, которые плохо размножаются традиционными способами, например, трудноукореняемых или образующих мало семян. В контексте лесовосстановления микроклональное размножение открывает новые возможности для быстрого и эффективного воспроизводства ценных лесообразующих пород. Генетическая однородность посадочного материала обеспечивает предсказуемость роста и развития лесных насаждений, что особенно важно при создании плантаций с заданными характеристиками. Ускоренное размножение позволяет быстро увеличить количество посадочного материала, необходимого для масштабных лесовосстановительных работ. Оздоровление посадочного материала повышает его устойчивость к болезням и вредителям, снижая затраты на защиту леса. Возможность размножения трудноукореняемых видов позволяет восстанавливать редкие и ценные породы, которые играют важную роль в поддержании биоразнообразия. Примером успешного применения микроклонального размножения для лесообразующих пород может служить работа по размножению сосны сибирской (Pinus sibirica) с использованием метода соматического эмбриогенеза. Исследования показали, что микроклонально размноженные саженцы сосны сибирской обладают более высокой приживаемостью и интенсивностью роста по сравнению с саженцами, выращенными из семян. Аналогичные результаты были получены при размножении дуба черешчатого (Quercus robur), ели европейской (Picea abies) и лиственницы сибирской (Larix sibirica). Несмотря на значительные преимущества, микроклональное размножение имеет и ряд ограничений. Высокая стоимость, обусловленная необходимостью использования дорогостоящего оборудования и высококвалифицированных кадров, является одним из основных факторов, сдерживающих широкое распространение метода. Кроме того, существует риск генетической нестабильности растений, полученных методом микроклонального размножения, что может приводить к появлению нежелательных признаков. Перспективы развития микроклонального размножения связаны с автоматизацией процессов, что позволит снизить стоимость производства, а также с разработкой экономичных протоколов, адаптированных к конкретным видам растений.

Технологии точной посадки представляют собой инновационный подход к лесовосстановлению, основанный на оптимизации процесса высадки саженцев с учетом характеристик конкретного участка. Концепция точной посадки заключается в применении современных технологий, таких как геоинформационные системы, дистанционное зондирование и автоматизированные системы посадки, для создания детальных карт рельефа, почв, увлажнения и других параметров, влияющих на рост и развитие растений [3]. На основе полученных данных разрабатываются оптимальные схемы и технологии посадки, обеспечивающие наилучшие условия для приживаемости и роста саженцев.

Одним из ключевых этапов точной посадки является предварительная оценка участка. Использование геоинформационных систем и дистанционного зондирования позволяет получить подробную информацию о пространственном распределении различных факторов, таких как тип почвы, содержание питательных веществ, уровень увлажнения, экспозиция склона и освещенность. Данные дистанционного зондирования, полученные с помощью спутников, самолетов или беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяют создавать карты растительности, оценивать состояние лесных насаждений и выявлять участки, нуждающиеся в восстановлении. С помощью геоинформационных систем данные дистанционного зондирования интегрируются с информацией о почвах, рельефе и других параметрах, создавая комплексную картину, необходимую для принятия обоснованных решений о выборе пород, схем посадки и технологий ухода.

Автоматизированные системы посадки представляют собой роботизированные комплексы, способные выполнять посадку саженцев с высокой точностью и производительностью. Эти системы могут быть установлены на тракторах или других транспортных средствах и оснащены датчиками, которые определяют оптимальное место для посадки каждого саженца. Другим перспективным направлением являются дроны для рассева семян. Дроны могут быть использованы для посева семян на больших площадях, в труднодоступных местах или после пожаров. Преимуществами автоматизированных систем посадки являются повышение производительности труда, снижение затрат на посадку, обеспечение равномерности посадки и снижение риска повреждения саженцев. Однако, автоматизированные системы посадки требуют значительных инвестиций и могут быть неэффективны на участках с сложным рельефом или каменистыми почвами. Дроны, в свою очередь, имеют ограничения по полезной нагрузке и дальности полета, а также требуют квалифицированного управления.

Оптимизация густоты и схемы посадки является важным элементом точной посадки. Густота посадки должна быть подобрана с учетом типа почвы, доступности воды и питательных веществ, а также биологических особенностей высаживаемых пород. На плодородных почвах с достаточным увлажнением можно высаживать саженцы с большей густотой, чтобы обеспечить быстрое формирование сомкнутого полога и подавление сорняков. На бедных почвах или в засушливых условиях следует высаживать саженцы с меньшей густотой, чтобы снизить конкуренцию за ресурсы. Схема посадки также должна быть выбрана с учетом конкретных условий участка и целей лесовосстановления. Например, на склонах рекомендуется высаживать саженцы рядами поперек склона, чтобы предотвратить эрозию по

Преимущества точной посадки очевидны: повышение приживаемости саженцев, ускорение роста, снижение затрат на уход и улучшение качества лесных насаждений. Благодаря точному учету характеристик участка и оптимизации процесса посадки, точная посадка позволяет создавать более устойчивые и продуктивные леса, способные эффективно выполнять свои экологические и экономические функции.

Дистанционный мониторинг играет ключевую роль в обеспечении эффективного управления лесовосстановительными мероприятиями, предоставляя своевременную и объективную информацию о состоянии лесных насаждений на больших территориях. Сущность дистанционного мониторинга заключается в использовании различных методов дистанционного зондирования, включая спутниковые снимки, аэрофотосъемку и данные LiDAR (Light Detection and Ranging), для получения информации о лесных ресурсах без непосредственного контакта с объектом исследования. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки и может быть использован для решения различных задач мониторинга [4].

Спутниковые снимки, получаемые с помощью различных спутниковых платформ, таких как Landsat, Sentinel и MODIS, обеспечивают широкий охват территории и регулярное получение данных (рисунок 2).

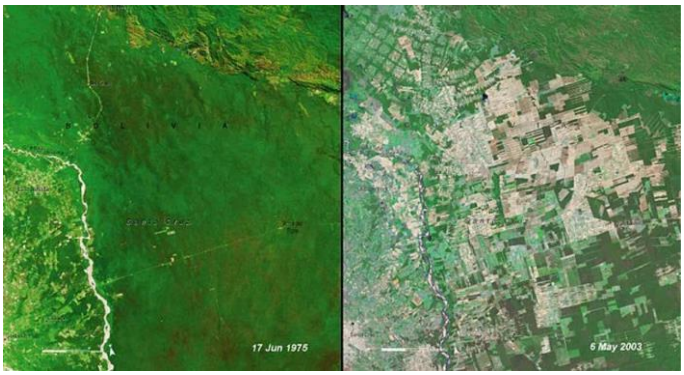


Рисунок 2

Они могут быть использованы для мониторинга динамики лесных площадей, оценки вегетационного состояния лесных насаждений, выявления изменений в землепользовании и обнаружения очагов пожаров. Аэрофотосъемка, выполняемая с помощью самолетов или БПЛА, позволяет получать более детальные снимки с высоким пространственным разрешением, что особенно важно для оценки состояния отдельных деревьев и выявления признаков болезней и вредителей. Данные LiDAR, получаемые с помощью лазерного сканирования, позволяют создавать трехмерные модели лесных насаждений, определять высоту деревьев, сомкнутость крон, запас древесины и другие важные параметры.

Мониторинг ключевых показателей является важным этапом дистанционного мониторинга лесовосстановления. Вегетационные индексы, такие как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и EVI (Enhanced Vegetation Index), рассчитываются на основе спектральных характеристик растительности и отражают ее вегетационную активность, биомассу и состояние здоровья. Мониторинг вегетационных индексов позволяет оценивать динамику роста и развития лесных насаждений, выявлять участки с угнетенной растительностью и определять эффективность лесовосстановительных мероприятий. Высота деревьев, сомкнутость крон и биомасса являются важными структурными характеристиками лесных насаждений, которые могут быть определены с помощью данных LiDAR. Мониторинг этих показателей позволяет оценивать запас древесины, продуктивность лесов и их способность поглощать углерод. Влажность почвы является важным фактором, влияющим на рост и развитие лесных насаждений. Данные о влажности почвы могут быть получены с помощью микроволновых радиометров, установленных на спутниках или самолетах. Мониторинг влажности почвы позволяет выявлять участки, подверженные засухе, и принимать меры по их обводнению.

Раннее выявление стрессовых состояний и болезней является важной задачей дистанционного мониторинга лесовосстановления. С помощью данных дистанционного зондирования можно выявлять изменения в спектральных характеристиках растительности, которые могут свидетельствовать о наличии болезней, вредителей или других стрессовых факторов. Например, изменение цвета хвои или листьев, снижение вегетационной активности или увеличение отражения в инфракрасном диапазоне могут быть признаками заболевания. Своевременное выявление проблем позволяет оперативно принимать меры по их устранению и предотвращать распространение болезней и вредителей [5].

Оценка эффективности лесовосстановительных мероприятий является важным этапом дистанционного мониторинга. С помощью данных дистанционного зондирования можно сравнивать состояние лесных насаждений до и после проведения лесовосстановительных мероприятий, оценивать прирост биомассы, увеличение сомкнутости крон и другие показатели. Сравнение различных стратегий и методов лесовосстановления позволяет выявлять наиболее эффективные подходы и оптимизировать процесс восстановления лесных экосистем.

Анализ и визуализация данных являются важными этапами дистанционного мониторинга. Данные дистанционного зондирования обрабатываются с помощью специальных программных средств, таких как геоинформационные системы, для создания карт и моделей, отражающих состояние лесных насаждений. Визуализация данных позволяет наглядно представлять информацию о лесных ресурсах и принимать обоснованные решения по управлению лесами.

Преимущества дистанционного мониторинга очевидны: охват больших территорий, оперативность получения данных, снижение затрат на проведение полевых исследований и возможность мониторинга труднодоступных участков. Благодаря этим преимуществам дистанционный мониторинг становится незаменимым инструментом для эффективного управления лесовосстановительными мероприятиями и обеспечения устойчивого развития лесного хозяйства.

Несмотря на явные преимущества, внедрение перспективных технологий искусственного лесовосстановления сталкивается с рядом серьезных вызовов, особенно в развивающихся странах, а также открывает широкие перспективы для дальнейшего развития лесного хозяйства [6]. Высокая начальная стоимость оборудования, требуемая квалификация персонала и затраты на адаптацию технологий к местным условиям существенно ограничивают доступность для стран с ограниченными ресурсами. Решение заключается в разработке упрощенных, экономически эффективных версий технологий, развитии международного сотрудничества для обмена опытом и предоставления грантов, а также в стимулировании локального производства оборудования.

Объем данных, генерируемых системами дистанционного мониторинга и другими технологиями, огромен и требует специализированных навыков для обработки и анализа. Необходимы разработка открытых и доступных программных платформ, обучение специалистов по анализу данных, а также создание интегрированных систем, позволяющих связать данные с различными источниками информации (почвенные карты, климатические данные и т.д.). Микроклональное размножение движется к автоматизации процессов и снижению затрат на питательные среды [7]. В точной посадке разрабатываются более автономные и маневренные роботизированные системы, способные работать на сложных рельефах. Дистанционный мониторинг совершенствуется за счет использования искусственного интеллекта для автоматической детекции болезней и вредителей, а также за счет интеграции данных с наземными наблюдениями. Отсутствие четких правил и стандартов, а также недостаточная поддержка со стороны государства, сдерживают внедрение инноваций. Необходима разработка стимулирующих механизмов (налоговые льготы, субсидии), создание фондов для поддержки научных исследований и внедрения новых технологий, а также адаптация существующих нормативных актов к новым реалиям. Преодоление этих вызовов и использование открывающихся перспектив позволит существенно повысить эффективность и устойчивость искусственного лесовосстановления, внеся значительный вклад в сохранение и приумножение лесных ресурсов планеты.

В контексте современных экологических вызовов, обусловленных глобальным изменением климата, деградацией почв и интенсивной антропогенной нагрузкой на лесные экосистемы, проблема эффективного лесовосстановления приобретает исключительную актуальность. Традиционные методы искусственного возобновления лесов, основанные на использовании семенного материала и ручном труде, зачастую оказываются недостаточно эффективными для обеспечения быстрого и устойчивого восстановления лесных площадей. В связи с этим, возрастает необходимость в разработке и внедрении инновационных технологических решений, способных повысить продуктивность и устойчивость лесовосстановительных мероприятий. Настоящее исследование посвящено анализу перспективных технологических решений, направленных на оптимизацию процесса искусственного возобновления лесов и обеспечение эффективного восстановления лесных экосистем. В рамках данного обзора рассмотрены и проанализированы три ключевые инновации, обладающие значительным потенциалом для преобразования лесохозяйственной практики: микроклональное размножение (in vitro propagation), позволяющее получать генетически однородный и оздоровленный посадочный материал; технологии прецизионной посадки (precision planting), оптимизирующие процесс высадки саженцев с учетом характеристик конкретных участков; и системы дистанционного мониторинга (remote sensing monitoring), обеспечивающие оперативный контроль за состоянием лесных насаждений и своевременное выявление возникающих проблем.

Список литературы

1. Алексеев, В. А. Технологии искусственного лесовосстановления в условиях изменяющегося климата / В. А. Алексеев, Г. С. Кузнецова, Е. И. Петрова. – Санкт-Петербург : СПбНИИЛХ, 2022. – 280 с.

2. Ecoestate. Лесовосстановление. Порядок проведения лесовосстановления. URL: https://ecoestate-russia.ru/news/lesovosstanovlenie?ysclid=mewgah7nfz560224360 (дата обращения 09.07.2025).

3. Комаров, И. А. Автоматизация процессов лесовосстановления с использованием беспилотных летательных аппаратов / И. А. Комаров, П. С. Орлов // Лесное хозяйство: вызовы XXI века : материалы междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 15–17 мая 2018 г. – Воронеж : ВГЛТУ, 2018. – С. 120-125.

4. RSF. Russian Science Foundation. Разработан метод упрощения дистанционного ИИ-мониторинга природы. URL: https://rscf.ru/en/news/biology/razrabotan-metod-uproshcheniya-distantsionnogo-ii-monitoringa-prirody/ (дата обращения 15.07.2025).

5. Своё| Фермство. Микроклональное размножение растений для непрерывного производства посадочного материала. URL: https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/videos/mikroklonal-noe-razmnozhenie-rastenij-dlja-nepreryvnogo-proizvodstva-posadochnogo-materiala (дата обращения 17.07.2025)

6. Сушко, О. П. Внедрение биотехнологий в сельском хозяйстве для увеличения добавленной стоимости продукции / О. П. Сушко, А. Р. Есина // Экономика высокотехнологичных производств. – 2025. – Т. 6, № 3.

7. Forest complex.ru. Портал о лесозаготовке и деревообработке. Технологии в помощь лесовосстановлению. URL: https://forestcomplex.ru/rf-protection/tehnologii-v-pomoshh-lesovosstanovleniju/ (дата обращения 23.08.2025).

References

1. Alekseev, V. A., Kuznetsova, G. S., & Petrova, E. I. (2022). *Tekhnologii iskusstvennogo lesovosstanovleniya v usloviyakh menyayushchegosya klimata* [Artificial reforestation technologies in a changing climate]. SPbNIILKh.

2. Ecoestate. (n.d.). *Lesovosstanovlenie. Poryadok provedeniya lesovosstanovleniya* [Reforestation. The procedure for reforestation]. Retrieved July 9, 2025, from https://ecoestate-russia.ru/news/lesovosstanovlenie?ysclid=mewgah7nfz560224360.

3. Komarov, I. A., & Orlov, P. S. (2018). Avtomatizatsiya protsessov lesovosstanovleniya s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Automation of reforestation processes using unmanned aerial vehicles]. In *Lesnoe khozyaistvo: vyzovy XXI veka: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Voronezh, May 15–17, 2018 (pp. 120-125). VGLTU.

4. Russian Science Foundation. (n.d.). *Razrabotan metod uproshcheniya distantsionnogo II-monitoringa prirody* [A method for simplifying remote AI monitoring of nature has been developed]. Retrieved July 15, 2025, from https://rscf.ru/en/news/biology/razrabotan-metod-uproshcheniya-distantsionnogo-ii-monitoringa-prirody/.

5. Svoye Fermerstvo. (n.d.). *Mikroklonal'noe razmnozhenie rastenii dlya nepreryvnogo proizvodstva posadochnogo materiala* [Microclonal propagation of plants for continuous production of planting material]. Retrieved July 17, 2025, from https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/videos/mikroklonal-noe-razmnozhenie-rastenij-dlja-nepreryvnogo-proizvodstva-posadochnogo-materiala

6. Sushko, O. P., & Yesina, A. R. (2025). Vnedrenie biotekhnologii v sel'skom khozyaistve dlya uvelicheniya dobavlennoi stoimosti produktsii [Implementation of biotechnologies in agriculture to increase the added value of products]. *Ekonomika vysokotekhnologichnykh proizvodst*, 6(3). [Note: If advance online publication, add URL. If in print, add page range.]

7. Forestcomplex.ru. (n.d.). *Tekhnologii v pomoshch' lesovosstanovleniyu* [Technologies to aid reforestation]. Retrieved August 23, 2025, from https://forestcomplex.ru/rf-protection/tehnologii-v-pomoshh-lesovosstanovleniju/.

DOI: 10.58168/Forestry2025_818-823
УДК 519.53

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В ВОПРОСАХ РАЗВИТИЯ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

М.Л. Лапшина

д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов»,
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация. Управление развитием предприятий лесопромышленного комплекса (ПЛК) является частью практической деятельности управленческого аппарата, при рациональном использовании выделенных ресурсов, а также – максимальном насыщении рынка продукцией данной отрасли. Но использование автоматизации не привело к улучшению качества управления. Для решения проблемы был предложен подход к разработке интегрированной системы, охватывающей структурные элементы ПЛК, позволяющей использовать унифицированную базу.

Ключевые слова: системы лесопромышленного комплекса, модель, управление, структура.

USAGE OF SIMULATION MODELS IN DEVELOPMENT OF BEHAVIORAL FEATURES OF COMPLEX SYSTEMS FOR THE TIMBER INDUSTRY

M.L. Lapshina
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation of Production Processes

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The management of the development of enterprises in the timber industry (PLK) is part of the practical activities of the management apparatus, with the rational use of allocated resources, as well as the maximum saturation of the market with products from this industry. However, the use of automation has not led to an improvement in the quality of management. To solve this problem, an approach was proposed to develop an integrated system that covers the structural elements of the PLC and allows for the use of a unified database.

Keywords: forestry systems, model, management, structure.

Управление развитием сложных специализированных систем, таких как предприятия лесопромышленного комплекса – это неотъемлемая часть работы управленческого персонала. Их главная цель – эффективно удовлетворять спрос на продукцию отрасли и оптимально использовать доступные ресурсы.

Вместо того, чтобы рассматривать реорганизацию структуры и работы системы

© Лапшина М. Л., 2025

управления развитием, мы сосредоточимся на усилении качественной составляющей различных методик процессов принятия управленческих решений.

На данном этапе процесс автоматизации использует базу, состоящую из разрозненных подходов, направленных на реализацию информационных проблем, но и такой подход к процедуре управления сложными системами ЛПК не привел к существенному повышению эффективности [1, с. 161]. Чтобы исправить ситуацию, необходимо создание комплексной автоматизированной системы управления, интегрирующей в себе все структурные единицы и используемой в своей работе единые принципы, методическую и многокритериальную базу.

Фундаментом для построения данной базы послужит модель системы управления развитием лесопромышленного комплекса. Данная модель призвана обеспечить формальное описание структуры и алгоритмов функционирования системы в разнообразных условиях [2, с. 26]. Несмотря на наличие описаний отдельных элементов системы [3, с.78], мы предлагаем рассматривать систему управления развитием как набор подсистем, а именно: функциональной, направленной на технологическое оснащение системы и функционально-экономической, отвечающей за экономическую составляющую управления.

Вся система, в целом, и взаимодействующие элементы представим с помощью матричной диаграммы иерархического типа. Отдельная матричная ячейка соответствует организационной единице, отвечающей за определенный круг вопросов и производящей обмен данными как в плоскостном диапазоне, так и в вертикальном. Для моделирования процессов планирования разработки сложных систем лесопромышленного комплекса, используется информационное представление, основанное на ключевых объектах: "группа", "предприятие" и "внешние структуры".

"Группа" – это структура, представляющая собой набор форм различного класса, обеспечивающая выполнение задач в срок, она содержит параметры состояния форм, их взаимосвязи, стадию жизненного цикла и экономическую обоснованность. Последствия от реализации принимаемых решений оцениваются посредством "плановой" и "технической" групп. "Плановая группа" моделирует процесс построения системы, учитывая текущее состояние разработок, их характеристики, а также варианты кооперации и загрузку производственных мощностей.

Техническая группа — это совокупность данных о системе связи и сигнализации сложной системы, которая содержит подробную информацию о её составе. В неё входит описание структуры комплекта, разбитое по группам, видам, типам и конкретным наименованиям элементов, входящих в систему. Также, в технический комплект, включены технические характеристики каждого элемента и оценка степени их морального и физического износа.

Отдел проектирования: В данном контексте это подразделение промышленного предприятия, которое занимается научно-исследовательскими работами по созданию новых образцов оборудования для развития системы связи и сигнализации. Информационная модель этого отдела содержит данные, описывающие его работу: список текущих разработок и их статус, финансовые показатели, динамику развития производственных мощностей, экономические факторы, влияющие на ценообразование, и другие важные характеристики.

В контексте данной отрасли, предприятие представляет собой производственную единицу, отвечающую за массовое изготовление образцов, необходимых для комплектации такой системы. Информационная модель производства охватывает такие аспекты, как производственные мощности предприятия, специализацию выпускаемой продукции, текущие финансово-экономические показатели, динамику развития производственных мощностей, а также экономические факторы, влияющие на формирование и изменение цен. Укрупненная схема схему связей информационных объектов в системе, управляющей развитием систем ЛПК, представлена на рисунке 1.

Такой подход к описанию системы управления развитием в первую очередь сосредоточен на планировании процессов разработки и производства, при этом не рассматривает аспекты реализации уже принятых решений.

.

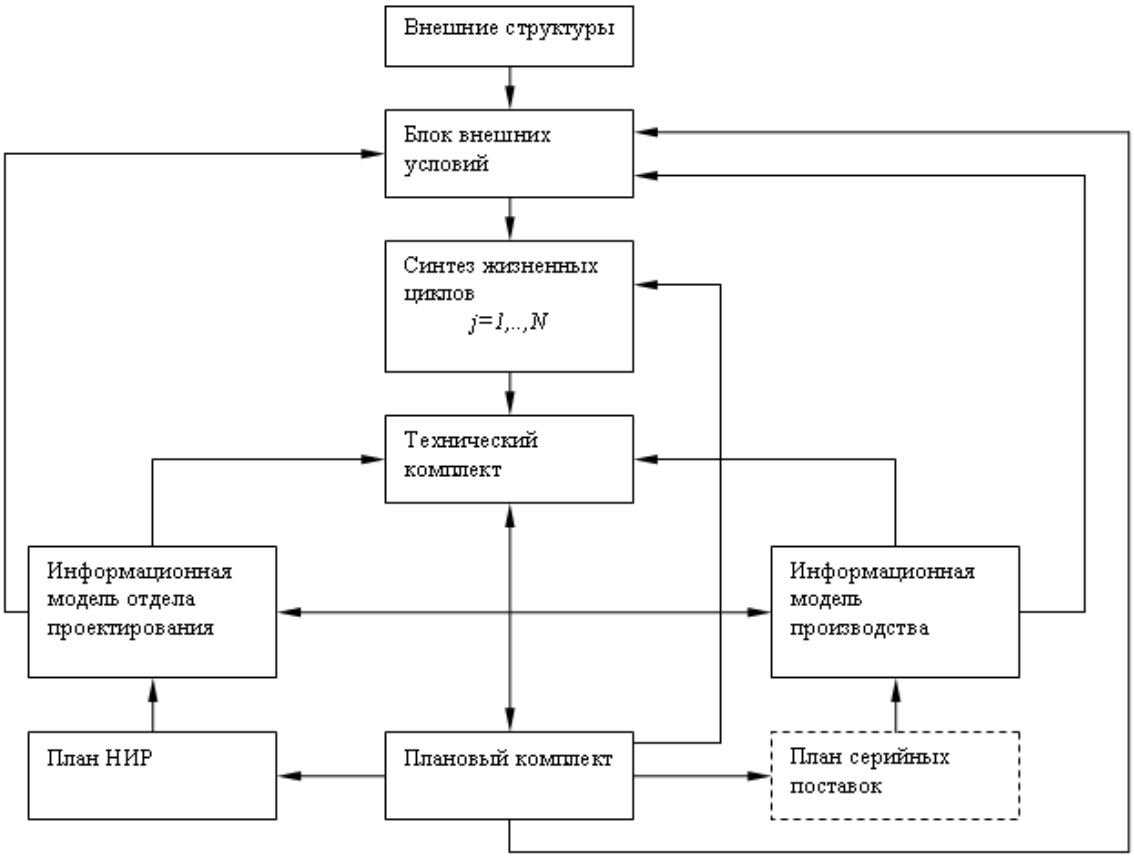


Рисунок 1 – Схематическое представление взаимосвязей объектов в системе управления развитием специальных систем ЛПК

В последние годы в области моделирования управления развитием систем, таких как сложные технологические системы ЛПК, стало популярным применение методологии концептуального программирования. В этой методологии в качестве информационной модели системы используется семантическая сеть, которая представляет собой граф с различными типами вершин, соответствующими основным понятиям управления, и рёбрами, отражающими связи между ними.

Вершины можно трактовать как представления объектов, тогда как рёбра представляют собой утверждения о связях между этими объектами.

Семантическая сеть используется для описания работы системы в процессе планирования разработки образца на прединвестиционном этапе. Преимуществом такого подхода является то, что все процессы, возникающие при решении задач планирования и реализации принятых решений, получают подробное описание.

Детализированное описание процессов, задействованных в управлении развитием систем, сопряжено со значительным увеличением затрат на формирование семантических сетей. Данный рост затрат становится непропорциональным при необходимости описания операций, осуществляемых в рамках множества организационных элементов системы, а также при последующей разработке методического аппарата и алгоритмического обеспечения. Рассмотренные методы описания, хотя и способствуют систематизации информации о различных аспектах системы и ориентированы на решение специфических управленческих задач, демонстрируют высокую зависимость от организационной структуры и не удовлетворяют критерию инвариантности к условиям ее

функционирования. Преодоление указанных недостатков достигается путем рассмотрения системы как структуры, образованной объектами, обладающими определенными существенными признаками.

Детализированное описание процессов, задействованных в управлении развитием систем, сопряжено со значительным увеличением инвестиций на формирование семантических сетей.

Данный рост затрат становится непропорциональным при необходимости описания операций, осуществляемых в рамках множества организационных элементов системы, а также при последующей разработке методического аппарата и алгоритмического обеспечения.

Рассмотренные методы описания, хотя и способствуют систематизации информации о различных аспектах системы и ориентированы на решение специфических управленческих задач, демонстрируют высокую зависимость от организационной структуры и не удовлетворяют критерию инвариантности к условиям ее функционирования.

Преодоление указанных недостатков достигается путем рассмотрения системы как структуры, образованной объектами, обладающими определенными существенными признаками.

В общей постановке [4, с. 106] задача классификации формулируется как поиск такого разбиения S заданного множества объектов $O = \cup_{i=1}^{N} O_i$ на непересекающиеся классы $S_1^*, S_2^*, ..., S_R^*, \cup_{r=1}^{R} S_r^* = 0, \cap_{r=1}^{R} S_r^* = \varnothing$, определяющем экстремум значения величины Q, соответствующей уровню качества на множестве допустимых решающих правил А, с учетом (1).

$$Q(S^*) = \min_{S \in A} Q(S), \quad (1)$$

Схема структурного представления системы управления представлена на рисунке 1. Описание объектов осуществляется посредством матрицы параметров (2), включающей технико-экономические характеристики, параметры применения, показатели надежности, функции состояния и параметры планового периода ($T_{ПЛ}$).

$$Y(t) = \begin{Bmatrix} Э(t) \\ C(t) \\ D(t) \\ G(t) \\ \Delta(t) \end{Bmatrix}, \quad (t = t_1, ..., t_N, \text{где} \quad T_{\text{ПЛ}} \to N), \quad (2)$$

Объекты системы управления развитием ССС обладают иерархической структурой. Они могут содержать внутренние объекты, которые, в свою очередь, также могут представлять собой сложные системы. Внутренние объекты, таким образом, являются полными аналогами внешних объектов по составу, структуре и характеру взаимодействия. Задачи, которые выполняет объект j, определяются как вся совокупность процессов P_k, реализуемых им на протяжении его жизненного цикла.

$$Z_j = \bigcup_{k=1}^{K} P_{jk}, (Z_k < Z_{\text{огр}\cdot k} = \sum_k P_k \; Z_1 \cap Z_2 \cap ..... \cap Z_k = \varnothing),$$

В контексте данной задачи, инициатор ее постановки будет называться субъектом. Система управления развитием предусматривает следующую классификацию задач:

Задачи, связанные с управлением**:** данный тип задач можно разделить на две группы: задачи, направленные на прямое воздействие, и задачи, формирующие ответную реакцию.

Задачи прямой связи: это передача указаний и информации от руководства или вышестоящих организаций.

Задачи обратной связи охватывает работы сложных систем ЛПК, связанные с подготовкой решений и поддержкой процессов управления развитием рассматриваемых систем.

Задачи контроля исполнения включают в себя отслеживание прогресса выполнения задачи на разных этапах. Для инициатора задачи предусмотрены следующие уровни контроля:

– подтверждение доставки, уведомление о том, что задача успешно отправлена адресату.

– подтверждение ознакомления: уведомление о том, что сотрудники, которым была адресована задача, ознакомились с её содержанием.

– подтверждение выполнения: уведомление о том, что задача выполнена.

– мониторинг статуса: информация о текущей стадии выполнения задачи.

Процесс – это неотъемлемая часть задачи, представляющая собой последовательность действий, направленных на достижение конкретной, четко определенной цели.

$$P_k = \left\{ D_{lk}(t) \right\}, \quad \left(P_l < P_{\text{орг}.l} \right) = \sum_l D_l, \quad t = t_1, ..., t_n,$$

где $T_{\text{пр.}} \to n, \quad P_1 \underset{t \in T_{\text{пл}}}{\cap} P_2 \underset{t \in T_{\text{пл}}}{\cap} ... \cap P_k \neq \varnothing,$

$$P_1 \underset{z \in Z}{\cap} P_2 \underset{z \in Z}{\cap} ... \cap P_k \neq \varnothing.$$

Каждый процесс имеет свой "дедлайн". Процессы не зависят друг от друга и от задач во временном плане. Это значит, что в пределах одной задачи они могут начинаться и заканчиваться в разное время, как отдельные события, не связанные друг с другом по таймеру. Эта свобода от временных рамок и позволяет задачам быть неограниченными по времени.

В процессе управления развитием этих систем часто наблюдается тесное взаимодействие. Оно проявляется в том, что внутренние отделы и внешние партнеры объединяют усилия в рамках единого процесса, выполняя параллельные действия. Ключевым требованием является одновременное начало и завершение такого процесса всеми вовлеченными сторонами. Сложные задачи могут быть выполнены по-разному, в зависимости от обстоятельств. Это означает, что в саму структуру выполнения задачи можно встроить механизмы, которые будут управлять порядком и способом выполнения ее отдельных шагов. Из этого формального описания следует, что:

– структура ЛПК представляет собой многоуровневую, упорядоченную систему. Все ее части похожи друг на друга по своим характеристикам. Каждую часть системы можно описать как абстрактный объект, используя предложенный формальный подход.

– все элементы этой системы имеют схожие свойства и могут быть представлены в виде одинаковых наборов параметров (матриц).

Стратегия развития лесопромышленного комплекса, основанная на данном подходе, предполагает концентрацию управленческих усилий на создании комплексных методологий. Первоначальное внедрение будет осуществляться в отдельных подразделениях, с последующим распространением на всю систему с учетом индивидуальных особенностей каждого компонента.

Список литературы

1. Андреев Г.И., Витчинка В.В., Остапенко С.Н. Особенности построения методического обеспечения управления развитием сложных систем специального назначения в современных условиях // Экономика и математические методы. 1999. Т. 35. № 1. – С.161-168.

2. Акоф Р., Сасиени М.М. Основы исследования операций – М.: Мир, 1971. – 118 с.

3. Вагнер Г. Основы исследования операций. – М.: Мир, 1972. – 210 с.

4. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Мир, 1985. – 154 с.

References

1. Andreev G.I., Vitchinka V.V., Ostapenko S.N. Peculiarities of constructing methodological support for managing the development of complex special-purpose systems in modern conditions // Economics and Mathematical Methods. 1999. Vol. 35. No. 1. – pp. 161-168.
2. Ackoff R., Sasieni M.M. Fundamentals of Operations Research – M.: Mir, 1971. – 118 p.
3. Wagner H. Fundamentals of Operations Research. – M.: Mir, 1972. – 210 p.
4. Taha H. Introduction to Operations Research. – M.: Mir, 1985. – 154 p.

DOI:10.58168/Forestry2025_824-828
УДК 630 181.22:528.44

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

Е.А. Нацентова[1], Н.В. Яковенко[1], О.Г. Желенков[1], Д.С. Марков[2]

[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
[2]Ивановский государственный университет, г. Иваново, Россия

Аннотация. Цель исследования – систематизировать теоретические основы и методологию применения геоинформационных систем (ГИС) для мониторинга и оценки состояния защитных лесных полос. Рассматриваются ключевые направления ГИС-анализа: пространственно-временная динамика, оценка экологического состояния и функциональной эффективности насаждений. Обосновывается методология, интегрирующая данные дистанционного зондирования (включая расчет вегетационных индексов, например, NDVI), наземные обследования и пространственный анализ в программных средах ArcGIS, QGIS и других. На примере исследований в Белгородской области и Ставропольском крае показана эффективность ГИС для выявления деградационных процессов (так, в Белгородской области выявлено 1464 км нарушенных участков) и оценки защитных функций (в Ставропольском крае 32% площади лесополосы требуют восстановления). Выводы статьи подчеркивают, что ГИС-технологии являются универсальным инструментом для перехода к системе непрерывного мониторинга и прогнозного моделирования развития агролесоландшафтов. Определены перспективы интеграции ГИС с технологиями LiDAR и методами машинного обучения.

Ключевые слова: геоинформационные системы (ГИС), лесные полосы, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), мониторинг, пространственный анализ, вегетационные индексы (NDVI), агролесомелиорация, деградация насаждений.

THEORETICAL FOUNDATIONS AND METHODOLOGY FOR APPLYING GEOINFORMATION SYSTEMS TO MONITORING AND ASSESSING PROTECTIVE FOREST SRIPS

E.A. Natsentova[1], N.V. Yakovenko[1], O.G.Zhelenkov[1], D.S. Markov[2]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
[2]Ivanovo State University, Ivanovo, Russia

Abstract. The study aims to systematize the theoretical foundations and methodology for using geoinformation systems (GIS) to monitor and assess the condition of protective forest strips. It examines key directions of GIS analysis: spatiotemporal dynamics, assessment of ecological condition, and functional effectiveness of plantations. The methodology integrating remote sensing data (including the calculation of vegetation indices, such as NDVI), ground surveys, and spatial analysis in software environments like ArcGIS, QGIS, and others is substantiated. Using examples from research in the Belgorod Oblast and Stavropol Krai, the effectiveness of GIS for identifying degradation processes (e.g., 1,464 km of degraded areas were identified in Belgorod Oblast) and assessing protective functions (e.g., 32% of the forest strip area in Stavropol Krai

© Нацентова Е. А., Яковенко Н. В., Желенков О. Г., Марков Д. С., 2025

requires restoration) is demonstrated. The conclusions emphasize that GIS technologies are a universal tool for transitioning to a system of continuous monitoring and predictive modeling of agroforestry landscape development. Prospects for integrating GIS with LiDAR technology and machine learning methods are identified.

Keywords: geoinformation systems (GIS), forest strips, remote sensing, monitoring, spatial analysis, vegetation indices (NDVI), agroforestry, degradation of plantations.

Введение

Лесные полосы (или **агролесоландшафты**) представляют собой важный структурный элемент устойчивых экосистем, выполняющих многообразные экологические и социально-экономические функции. К их основным функциям относят **защиту почв от эрозии**, **регулирование микроклимата**, **сохранение биоразнообразия**, а также повышение продуктивности сопредельных сельскохозяйственных угодий [2,4]. Однако в современных условиях эти насаждения подвергаются значительным деградационным изменениям, обусловленным как естественными процессами (старение древостоев, изменение гидрологического режима территорий), так и антропогенным воздействием. [3,4].

В этой связи актуализируется задача разработки эффективных методов мониторинга и оценки состояния лесных полос. **Геоинформационные системы (ГИС)**, обладающие мощным инструментарием для сбора, анализа и визуализации пространственных данных, открывают новые возможности для решения данной задачи. Теоретический анализ потенциала ГИС-технологий позволяет систематизировать методологические подходы и определить перспективные направления исследований в области управления агролесоландшафтами.

Методологической основой применения ГИС для исследования лесных полос является **комплексный подход**, интегрирующий методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), наземных обследований и пространственного анализа [1,2].

Ключевым аспектом является использование **спутниковых данных** различного разрешения (Landsat-8, Sentinel-2 и др.), которые после процедур радиометрической и атмосферной коррекции служат основой для дешифрирования и последующей векторизации контуров лесных полос.

Важнейшим инструментом оценки плотности и жизнеспособности растительности выступают **вегетационные индексы**, в частности **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index), которые позволяют количественно определить уровень фотосинтетической активности растений и выявить участки деградации [2].

Для обработки и анализа данных используются как международные программные ГИС-пакеты (**ArcGIS**, **MapInfo**), так и отечественные разработки (**GeoGraph/GeoDraw**, QGIS), которые предоставляют специалистам широкий инструментарий для картографирования, пространственного анализа и моделирования [1]. Интеграция разновременных картографических материалов и данных ДЗЗ позволяет проводить **ретроспективный анализ** и оценивать динамику состояния лесных полос за длительные периоды [2].

Ключевые направления исследований лесных полос с использованием ГИС

Пространственно-временной анализ динамики и сохранности/

Одним из перспективных направлений является изучение пространственно-временной динамики лесных полос. Как показали исследования, проведенные на территории Белгородской области, с 1950-х по 2017 год общая протяженность лесных полос увеличилась в 2 раза – с 14 600 км до 29 600 км. Однако параллельно наблюдаются процессы деградации: в среднем около **0,96 км на 1000 км** лесополос, высаженных до 1955 г., ежегодно выбывает из оборота. Причинами сокращения являются старение насаждений, отсутствие систематического ухода и антропогенное воздействие. ГИС-технологии позволяют не только фиксировать эти изменения, но и выявлять их пространственные

закономерности, например, устанавливать обратную корреляцию между протяженностью нарушенных участков и значениями гидротермического коэффициента (r =-0.44), что свидетельствует о снижении жизнестойкости лесополос в засушливых условиях [4].

Оценка экологического состояния и функциональной эффективности

ГИС-анализ позволяет перейти от инвентаризации к комплексной оценке экологического состояния и функциональной эффективности лесных полос. Методами визуального дешифрирования космических снимков высокого разрешения возможно идентифицировать нарушенные участки, для которых характерна **изреженность (фрагментированность) древостоя**. Например, в Белгородской области длина таких участков составила 1 464 км.Кроме того, ГИС-моделирование дает возможность оценить **противоэрозионную эффективность** лесных полос. Исследования выявили, что около 50% полезащитных лесных полос, созданных в 1950–1980-х гг. на склонах свыше 2°, отклоняются от направления горизонталей более чем на 30°, что провоцирует размывы почвы и образование промоин [4].

Таким образом, ГИС-технологии позволяют не только диагностировать проблемы, но и разрабатывать научно обоснованные рекомендации по оптимизации агролесоландшафтов, например, определять необходимость создания дополнительных лесных полос для снижения эрозионных рисков.

Мониторинг защитных функций и управление на региональном уровне

Опыт практического применения ГИС-технологий для мониторинга состояния лесных полос демонстрирует их высокую эффективность на региональном уровне. Так, специалисты лаборатории ГИС-технологий Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра провели анализ **государственной защитной лесной полосы** в Ставропольском крае. В результате было установлено, что **68%** всей ее площади находится в удовлетворительном состоянии, а оставшиеся **32%** занимают усыхающие или погибшие участки. Пространственный анализ выявил значительную территориальную дифференциацию: наименьшие показатели сохранности отмечаются в северных, более засушливых районах края (Апанасенковский округ – 30% сохранности), тогда как в центральных районах состояние лесополос значительно лучше (Александровский округ – лишь 10% разрушений). Подобные оценки являются основой для разработки целевых программ по восстановлению и созданию новых лесных полос, что особенно актуально для регионов рискованного земледелия, каким является Ставропольский край [3].

Таблица 1. Основные ГИС-технологии и их применение в исследовании лесных полос (сост .по 1,2,4,6)

Технология/Инструмент	Ключевые возможности	Область применения
Дистанционное зондирование (ДЗЗ)	Получение многозональных и многовременных снимков	Мониторинг динамики, выявление деградированных участков
Вегетационные индексы (NDVI)	Количественная оценка плотности и жизнеспособности растительности	Диагностика состояния древостоя, выявление зон усыхания
Пространственный анализ	Исследование распределения объектов и их взаимосвязей	Оценка эрозионных рисков, анализ влияния рельефа и климата
Цифровое картографирование	Создание тематических карт (сохранности, функциональной значимости)	Визуализация результатов, поддержка принятия управленческих решений

Дальнейшее развитие методов ГИС-оценки лесных полос связано с интеграцией с новейшими технологиями. Перспективным направлением является использование **лидарной съемки (LiDAR)**, которая позволяет получать высокоточные трехмерные модели рельефа и растительного покрова, что существенно повышает детальность оценок морфометрических характеристик лесных полос.

Активно развивается направление, связанное с применением методов **машинного обучения** для автоматического дешифрирования космических снимков и классификации состояния древостоя [2]

Кроме того, создание комплексных ГИС-моделей, включающих данные о **цикле углерода**, открывает возможности для оценки климаторегулирующих функций лесных полос, в частности, их роли в секвестрации углерода.

Разработка пространственных предикторов на основе цифровых моделей рельефа (например, характеристик поверхностного стока) позволяет перейти к прогнозному моделированию функционирования агролесоландшафтов в условиях изменяющегося климата [5,6].

Заключение

Теоретический анализ подтверждает, что геоинформационные системы представляют собой мощный и универсальный инструмент для исследования лесных полос. Методологический потенциал ГИС заключается в способности интегрировать разнородные пространственные данные (ДЗЗ, картографические материалы, результаты наземных обследований) и проводить на их основе комплексный анализ состояния, динамики и функциональной эффективности агролесоландшафтов. Применение ГИС-технологий позволяет перейти от эпизодических наблюдений к системе непрерывного мониторинга, обеспечивающей своевременное выявление деградационных процессов и обоснование мероприятий по восстановлению защитных насаждений. Интеграция ГИС с современными технологиями, такими как LiDAR и машинное обучение, открывает новые возможности для повышения точности и детальности оценок, а также для прогнозного моделирования развития агролесоландшафтов, что имеет ключевое значение для обеспечения экологической устойчивости и продовольственной безопасности в условиях глобальных изменений климата.

Список литературы

1. Позднякова Ю. С., Подгорный Я. Б. Применение ГИС-технологий для анализа состояния лесного хозяйства // Актуальные исследования. — 2021. — № 36 (63). — С. 24–26.
2. Нацентова Е. А., Желенков О. Г. ГИС-технологии для оценки лесополос: подходы, методы и перспективы // Материалы всероссийской молодежной конференции, посвященной международному дню Земли – 2025 / Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. — Воронеж, 2025. — С. 102–108. — DOI: 10.58168/EarthDay2025_102-108. — URL: https://naukaru09.ru/ru/nauka/conference_article/16232/view (дата обращения: 05.10.2025).
3. На Ставрополье провели анализ состояния государственной защитной лесополосы // Ставропольская правда. — 2025. — 29 янв. — URL: https://www.stapravda.ru/20250128/na_stavropole_proveli_analiz_sostoyaniya_gosudarstvennoy_zaschit_227184.html (дата обращения: 05.10.2025).
4. Нарожняя А. Г., Чендев Ю. Г. Изучение современного экологического состояния лесных полос с использованием ГИС и ДДЗ // ИнтерКарто. ИнтерГИС. — 2020. — Т. 26, Ч. 2. — С. 54–65. — DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-54-65.
5. ГИС-технологии в мониторинге биоразнообразия лесов : Учебное пособие. — М., 2021. — 150 с.

6. Савин М. С., Плотникова А. С., Нарыкова А. Н. Применение ГИС-технологий для создания пространственных предикторов в целях картографирования экосистемных функций лесов на локальном уровне // Вопросы лесной науки. — 2022. — Т. 5, № 2. — С. 105. — DOI: 10.31509/2658-607x-202252-105.

References

1. Pozdnyakova, Y. S., & Podgorny, Y. B. (2021). Application of GIS technologies for the analysis of the state of forestry. *Aktual'nye Issledovaniya*, 36 (63), 24–26.

2. Natsentova, E. A., Zhelenkov, O. G. (2025). GIS-technologies for assessing forest belts: Approaches, methods and prospects. In Materials of the All-Russian Youth Conference dedicated to International Earth Day – 2025 (pp. 102–108). Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov. https://doi.org/10.58168/EarthDay2025_102-108.

3. On the Stavropol, an analysis of the state of the state protective forest belt was carried out. (2025, January 29). *Stavropolskaya Pravda*. https://www.stapravda.ru/20250128/na_stavropole_proveli_analiz_sostoyaniya_gosudarstvennoy_zaschit_227184.html.

4. Narozhnaya, A. G., & Chendev, Y. G. (2020). Studying the modern ecological state of forest strips using GIS and remote sensing. *InterCarto. InterGIS*, 26 (2), 54–65. https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-2-26-54-65.

5. GIS technologies in forest biodiversity monitoring. *(2021) : Textbook.*

6. Savin, M. S., Plotnikova, A. S., & Narykova, A. N. (2022). The use of GIS technologies to create spatial predictors for mapping forest ecosystem functions at the local level. *Lesnoy Vestnik [Forest Bulletin]*, 5 (2), 105. https://doi.org/10.31509/2658-607x-202252-105.

DOI: 10.58168/Forestry2025_829-836
УДК 630 181.351(504.062:719)

ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ГОРОДСКИХ ЛЕСОВ КАК ОСНОВА СМАРТ-ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

Е.В. Потапова
д. с.-х. н., к.б.н., профессор кафедры гидрологии и природопользования,
Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Аннотация. Лесопользование для городских лесов в том числе, сопряжено с рядом схожих проблемных моментов. Основными указаны четыре. Определение понятия «городской лес», законодательная, административная и физическая принадлежность объектов озеленения конкретного типа и категории, разрешённые варианты лесопользования и комплекс экосистемных услуг, из которых указаны 8, разделённых на 46 функций. Приведены 10 методов оценки и 7 обобщенных примеров смарт-развития для некоторых этапов лесопользования.

Ключевые слова: устойчивое развитие, лесничество, биоразнообразие, глобальные перспективы, управление.

ECOSYSTEM SERVICES OF URBAN FORESTS AS A BASIS FOR SMART FOREST MANAGEMENT

E.V. Potapova
Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Biological Sciences, Professor of the Department of hydrology and environmental management
Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Abstract. Forest management, including for urban forests, is associated with several similar problematic issues. The main ones are four. Definition of the concept of "urban forest", legislative, administrative and possession of landscaping facilities of a specific type and category, permitted forest management options and a set of ecosystem services, of which 8 are indicated, divided into 46 functions. There are 10 assessment methods and 7 generalized examples of smart development for some stages of forest management.

Keywords: sustainable development, forestry, biodiversity, global perspectives, management

Оценка глобальных проблем современности, одной из которых является обезлесение, их региональная реализация и локальные решения задач в контексте Целей устойчивого развития и специальных международных инициатив, как Программы Организации Объединённых Наций по сокращению выбросов в результате обезлесения и деградации лесов – исключительно научный тренд, способствующий как верификации связей между этими векторами, так и оптимизации вариантов их дальнейшей совокупной реализации [8]. Актуальность подобных разработок учёными позволяет использовать триединство мирового развития в контексте страновых и местных особенностей. Однако такая работа сопряжена с проблемами на каждом элементе, например в контексте данной статьи – это и городские леса, и лесопользование, и экосистемные услуги, и смарт-технологии.

Городские леса – как часть системы озеленения населённых пунктов, относится в соответствии с основной классификацией ГОСТ 28329–89 «Озеленение городов. Термины

© Потапова Е. В., 2025

и определения» к категории общего пользования. По земельному кадастру они обычно не принадлежат землям лесного фонда и могут находиться в ведении органов местного самоуправления. Тем не менее, к ним применяются ограничения и требования, установленные для лесов. Отдельным пунктом обсуждения в контексте темы статьи могли бы служить защитные зелёные зоны городов, но это ещё более сложная задача [3].

В связи с некоторыми спорными вопросами владения, содержания и другими, преимущественно административно-юридическими концепциями, для этих объектов с 1 января 2022 года муниципальные власти наделены полномочиями по созданию лесничеств на землях населенных пунктов. Городские лесничества, как структурные подразделения, отвечают за управление, охрану, защиту и воспроизводство лесов в муниципальном образовании. Указано, что на 1 января 2023 года их число приближается к трём сотням – 296 [9]. По данным Сведений о Лесистости муниципальных образований, субъектов РФ и федеральных округов (по состоянию на 01.01.2024 года) для 163 городов указана лесистость. В Иркутской области их семь – Иркутск (лесистость – 21,2 %), Братск (36,9), Саянск (38,1), Тулун (28,8), Усолье-Сибирское (17,5), Усть-Илимск (37,3) и Черемхово (12,4). Конечно, происхождение и значение этого показателя может отражать различные сведения, особенно если попытаться выяснить, что такое «лес» и с какого времени искусственно лесовосстановленный участок начнёт считаться лесом. По данным Рослесхоза леса в России расположены на землях лесного фонда и землях иных категорий. Площадь лесов России на 01.01.2024 года составляет 1188,3 млн га, в том числе: на землях населенных пунктов (городские леса) – 1,3 млн га [6].

Информация, производимые работы, ответственность, варианты контроля и надзора над лесами распределены, исходя из активных ссылок между или вместе: Федеральным агентством лесного хозяйства, находящейся в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (до 2010 – Минсельхозу) – Рослесхозу (стоит отметить, что классификация числа территориальных органы и подведомственных организаций скорее всего самое большое среди всех министерств, ведомств, агентств, органов власти), Департаментами лесного хозяйства, Министерствами лесного комплекса, Комитетами лесного хозяйства, Администрацией муниципального образования (отличаются по субъектам страны). А особенности и число отделов даже по федеральным округам вызывает дальнейшее недоумение. Например, Департамент лесного хозяйства по Уральскому федеральному округу, состоит из 5 (или 8) отделов, а Дальневосточного – из 12 и лишь три-четыре совпадают по названию и относятся они обычно к финансово-правовой сфере [1]. В г. Иркутске есть ещё Муниципальное казенное учреждение «Городская среда» (функционирующее с целью: сохранения и развития озелененных территорий общего пользования города Иркутска) и Служба городских лесов или Сектор городских лесов. Многообразие и/или «беспорядок» в системе органов управления и контроля вряд ли прибавляет даже понимание проблем различных объектов озеленения. Например, выяснить официальное количество озеленённых территорий, относящихся к городским лесам, не представляется возможным в разумный промежуток времени. Но даже если этот вопрос считать локально решённым, например в г. Иркутске на учёт поставлены фактически все объекты, отнесённые к этой категории, но в Реестре контролируемых объектов в разделе Муниципальный лесной контроль, например «Плишкинский лес» разделён на 9 земельных участков с указанными площадями, два из которых обозначены как «Охрана природных территорий» и 4 «Городские леса, лесопарки». А объект, являющийся ООПТ «Кайская роща» разделён на 17 участков, из которых лишь один обозначен как «Земли населённых пунктов/ Городской лес/ Особо охраняемая природная территория местного значения природного ландшафта», но площади ни для одного не указаны. На специальном, местном законодательстве о городских лесах останавливаться фактически нет смысла, оно существует и было, например закон Пермской области от 27 декабря 2004 года № 1967-426 «О городских лесах» (отменён в 2007 г.), а в Иркутской области действует Решение Думы

города Иркутска от 27 июня 2008 года № 004-20-510851/8 «Положение об организации использования, охраны, защиты, воспроизводства городских лесов города Иркутска».

Не стоит даже сомневаться, что для любого управления в первую очередь необходим учёт и такая его форма, чтобы было без сомнений и всем понятно – сколько и кто, и чем управляет. А мы имеем лишь вопросы, что это за объекты, где они и кому принадлежат и подчиняются.

Экосистемные услуги городских лесов являются базой смарт-лесопользования и в структуре умного города, подразумевая оптимизацию использования ресурсов леса/озеленения с учетом их экологической, экономической и социальной значимости [2]. Оно предполагает экономически целесообразное применение современных технологий и методов для поддержания качества таких экосистем и максимизации их вклада в благополучие общества. Но услуги и функции, если и обсуждаются, то чаще лишь для природных объектов и до сих пор, в основном, в общем и нематериальном виде. Например, можно предложить (снова лишь списком) следующие экосистемные услуги городских лесов (таблица 1):

Таблица 1. Экосистемные услуги городских лесов

№	Услуги	Функции
1	Средообразование	Местообитание Почвообразование Создание микроклиматических условий Строительство домов Обеспечение, поддержание безопасности от бедствий
2	Глобальные	Биоразнообразие Производство кислорода Поглощение и депонирование углекислого газа Круговорот веществ Круговорот воды Регулирование климата Производство первичной продукции и поддержание вторичной продукции Почвообразование Обеспечение существенными экономическими ценностями
3	Ресурсные	Пищевая Топливная Генетическая Банк семян Ресурс минеральных веществ Ресурс лекарственных средств
4	Экологические	Влияние на радиационный, в том числе тепловой режим Изменение ионизации, влажности и состава воздуха (выделение специфических веществ в т.ч. ароматических) Ветрозащитная и образование ветров Регулирование речного стока
5	Санитарно-гигиенические	Фильтрующая воздуха и воды Газозащитная Водоохранная Шумозащитная Почвозащитная

6	Медико-социальные	Рекреационная Влияние на центральную нервную систему Влияние на зрение Влияние на органы дыхания Антисептическая Духовная или духовно-религиозная Эстетическая: вид из окна – как произведение искусства Лечебно-профилактическая
7	Декоративно-планировочные	Ландшафтообразующая Структурно-планировочная Декоративно-художественная Берего-, склоно- и откосоукрепление Другие формы защитных функций, например защита от эрозии и наводнений
8	Научно-познавательные	Общение с природой Объект изучения, Система знаний. Биоиндикаторная Историческая ценность

Значительная часть из них при определённой, правильной и контролируемой организации обеспечивает целый комплекс мер безопасности, как от природных катастроф, так и промышленных аварий и других форм негативного влияния человеческой деятельности, то есть значимость не вызывает сомнений.

Возникает, точнее продолжается вот уже чуть не 50 лет, 30 – точно, вопрос оценки таких услуг. Вроде бы что проще – известна цена за литр кислорода и сколько кислорода вырабатывает лист растения, делим/умножаем и – ничего не выходит. Известно сколько стоит вход в парк (некоторые – платные, а в ОАЭ многие), снова экстраполируем и снова не сработало. Почему? Ответ неизвестен. Методов оценки или перевода качества в денежный эквивалент предложено больше десяти:

1) прямого и косвенного рыночного ценообразования;
2) гедонистического ценообразования;
3) основанные на восстановлении и/или предотвращении ущерба;
4) условной оценки (Contingent Valuation Method – CVM);
5) оценки стоимости путешествий к благу;
6) стоимостного замещения искусственным аналогом;
7) основанные на снижении проявления зависимых от услуги рисков;
8) затрат на смягчение последствий от потери услуги;
9) выбора между разными услугами;
10) страхования.

И некоторые другие, в том числе качественные, но имеющие материальные коэффициенты. Однако потенциальное применение с однозначным выводом, так и не осуществимо. Мы даже не можем без сомнений утверждать, что выгоднее – вырубить лес на дрова или оставить для сбора ягод и грибов (и/или полсотни всех других услуг) при совершенно понятных ценах на первое и второе.

Городские леса украшают окружающую среду поселения, повышают качество жизни горожан и имеют культурную и историческую значимость и являются охраняемыми объектами, но приносят слишком много и в основном именно больше расходов, чем доходов. Проблема именно в отсутствии эффективного менеджмента.

Смарт-лесопользование – это не только интеллектуальное управление в режиме умного города, но выполнение основных положений этой концепции. Объективный учёт – это не просто первоначальный этап, но сложнейшая процедура оценки качества, места, роли и перспектив, которая, и только она сможет стать основой для следующих этапов [7].

Планирование не просто должно быть, но должно соответствовать конкретному объекту и его цели в системе озеленения населённого пункта. Быть измеримым, достижимым, реалистичным и в определённый период, а также учитывать вызовы времени – инклюзии всех групп населения, использование данных дистанционного зондирования, сенсоров, дронов и других технологий для мониторинга и контроля, цифровизации, иметь образовательные и просветительские функции.

СМАРТ-развитие предполагает четыре (исключая существующую полемику и по этому пункту) обязательных элемента: Specific (конкретный), Measurable (измеримый), Achievable (достижимый), Realistic (реалистичный), Time related (связанный со временем) (таблица 2).

Таблица 2. Обобщенные примеры смарт-развития для некоторых этапов лесопользования

S	M	A	R	T
Учёт	чел./час. Сколько человек смогут выполнить эту работу	лет (по расчёту показателя M)	если сотрудник один, то фактически невыполнимая задача	отражает связь A и R
План развития	на каждый год и/или до (например, 2030)	разрабатывать дополнения в перспективе грантов, пожертвований	исключительно в рамках финансирования	ежегодные и в связи с трендами, пункт M
Увеличение доли насаждений	по группам: посадка, замена, усиление привлекательности	исходя из имеющихся средств	план, выполнение, подпись	в год
Мониторинг /контроль	для каждого объекта	разделить между ведомствами	не более двух органов власти	число в год
Сбор ягод	площади ягодников	может исходить из доступности	ежегодный	месяц в году
Рубка	один раз, один день	единовременно	если нет ограничений	вывод из всех других форм эксплуатации на 20–30 лет
Рекреация	доступность 1 км и 15 минут	цель рекреации, группы населения	другие объекты	перспективы

Как понятно из некоторых приведённых примеров, даже обязательные этапы лесопользования – учёт, планирование, контроль сложно осуществимы без специальных мер, но без них дальнейшая эксплуатация и устойчивое развитие концептуально невозможны. Обязательным планом для каждого пункта должны быть Цели устойчивого развития. Ведь, например сбор ягод – это обеспечение продовольствием и/или средствами какой-то группы населения и других живых организмов и как минимум дополнительная рекреационная функция, а рубка – это полная ликвидация других возможностей. Увеличение доли насаждений связана как с семеноводством, селекцией и заготовками семян, что тоже включает дополнительные услуги.

Безусловная сложность этой многозадачной системы приводит к трудоёмкости и затратности исполнения. Именно для этого необходимо привлечение к реализации таких планов всех – жителей и администрации, учёных, студентов и волонтёров. Использование мировых тенденций, осуществлённых практик на опережающую перспективу и налаживание связей с местными сообществами должны стать базовыми составляющими такого развития.

Смарт-лесопользование, в первую очередь направленное на поддержание и улучшение экосистемных услуг, предоставляемых городскими лесами. Понимание ценности этих услуг позволяет более осознанно подходить к управлению лесами, обеспечивая баланс между интересами общества, экономики и природы. Современные технологии и научные знания, применяемые в смарт-лесопользовании, позволяют эффективно сохранять и приумножать природные богатства, обеспечивая устойчивое развитие городов и повышение качества жизни их жителей.

Стратегический приоритет развития лесного комплекса Иркутской области (самой лесистой области страны на 2024 г) до 2036 года содержит две цели и почти 40 задач, самыми поразительными можно указать:

- осуществление мероприятий по лесоустройству за счет средств федерального бюджета на всей территории Иркутской области;
- доведение численности лесных инспекторов до нормативного уровня;
- выращивание лесных насаждений ценных пород из селекционно отобранного и генетически улучшенного семенного и посадочного материала;
- увеличение объемов заготовки семян лесных растений с улучшенными наследственными свойствами;
- обеспечение рационального использования дикорастущих лесных ресурсов;
- реализация мероприятий по снижению объемов незаконно заготовленной и перерабатываемой древесины;
- создание цивилизованного внутрирегионального рынка лесопродукции и развитие деревянного домостроения на территории Иркутской области [4].

Россия – донор экосистемных услуг лесов для всего мира. Указом Президента Российской Федерации В.В. Путина от 7 мая 2024 года утвержден новый национальный проект «Экологическое благополучие», который фиксирует стратегические направления развития и лесного хозяйства России с 2025 по 2030 год в рамках федерального проекта «Сохранение лесов», целью которого является обеспечение баланса выбытия и воспроизводства лесов в соотношении 100 % к 2024 году. Цель была достигнута к 2021 году [10].

Специальная программа ФАО по лесному хозяйству работает и публикует отчёты с 1947 года. ФАО признает, что наука и инновации являются важнейшими составляющими решений, основанных на использовании лесных ресурсов [11]. Инновационные тренды, связанные с лесными ресурсами в общемировом значении, объединяются лишь в пять категорий:

1) технологические (Цифровые (базы данных, открытый доступ к данным дистанционного зондирования, глобальная оценка лесных ресурсов в т. ч. предлагаемая ФАО Global Forest Resources Assessment и Open Foris. Связанные с продуктами/процессами для конкретных регионов, контроль происхождения леса и ресурсов. Биотехнологические – новые машины, новые способы выращивания, анализа состояния);

2) социальные инициативы, призванные активизировать участие женщин, молодежи и коренных народов поддержка кооперативов с целью усиления позиций мелких фермеров;

3) политические – складываются в разработке решений на местном уровне, содействие созданию многосторонних партнерств и межотраслевых подходов к разработке мер политики и планированию землепользования;

4) институциональные, особенно мирового уровня для осознания глобальных проблем и принятия решений;

5) финансовые: например, инновации в сфере государственно-частного финансирования, нацеленные на повышение ценности естественных лесов, активизации усилий по восстановлению и расширению доступа мелких фермеров к кредитам для обеспечения устойчивости производства.

Даже городским лесам и другим объектам озеленения населённых пунктов присваивают фактически весь спектр экосистемных услуг и в рамках проектов «Зелёный город» эффективное городское планирование, в том числе создание озеленённых территорий и развитие устойчивых продовольственных систем, может положительно повлиять на ситуацию с продовольственной безопасностью и питанием, а также способствовать повышению уровня жизни и благосостояния жителей городских и пригородных районов. С продолжающимся ростом городов расширяются возможности для обеспечения их устойчивости за счёт: развития городского сельского хозяйства, пропаганды здорового питания, сокращения объёма (пищевых) отходов и их утилизации, озеленении в целях формирования более здоровой среды и улучшения образа жизни, восстановлении связи городов с прилегающими сельскими районами. В условиях, когда мировое сообщество сталкивается с усиливающимися угрозами и постоянными рисками, леса помогут найти решения глобальных проблем [11].

В целях реформирования лесного законодательства России необходимы изменения в вопросах признания «материальности» экосистемных услуг лесов, их измеримости и стоимости; отражение в лесном законодательстве страны перечня экосистемных услуг в составе видов использования лесов; формирование правовых основ для создания и развития рынка экосистемных услуг лесов и нормативное установление потребителей и бенефициаров этих услуг [5].

В 2012 году Генеральная Ассамблея ООН в ознаменование важности всех типов лесов и с целью повышения осведомленности об их роли провозгласила 21 марта Международным днем лесов. Каждый Международный день лесов проводится с новой темой (в 2025 году – это была – «Леса и продовольствие») для оказания поддержки усилиям на местном, национальном и международном уровнях по организации мероприятий, связанных с лесами и деревьями. Леса – это не только источники пожарной опасности, но зелёное золото!

Список литературы

1. Департаменты лесного хозяйства. – URL: https://rosleshoz.gov.ru/agency/territorial/ (дата обращения: 10.08.2025)

2. Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Каганов В. В. Экосистемные услуги и пространственное распределение защитных лесов Российской Федерации / Лесоведение, 2021.– № 6, С. 581–592

3. Зоны с особыми условиями использования и озеленённые территории городов / Е.В. Потапова, М. С. Красавцева, Ю. В. Безбородова, А. А. Макаров // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, 2021. –№1. – С.63–76.

4. Лесной комплекс. – URL: https://irkobl.ru/region/economy/forest/ (дата обращения: 10.08.2025)

5. Лукина Н. В. Формирование рынка экосистемных услуг лесов – направления совершенствования российского лесного законодательства. – URL: https://cepl.rssi.ru/wp-content/uploads/2017/11/Экосистемные-услуги-лесов_Лукина.pdf (дата обращения: 10.08.2025)

6. Обобщенные данные Государственного лесного реестра. – URL: https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest-register/ (дата обращения: 10.08.2025)

7. Применение региональной геоинформационной системы «Умный лес» при управлении лесным хозяйством Пермского края / Т. С. Воробьева, Л. А. Белов, Я.Ю. Кетова, К.В. Галка// Леса России и хозяйство в них. 2023. – № 1. – С. 74–80

8. Программа ООН-СВОД. – URL: https://www.un-redd.org/ (дата обращения: 10.08.2025)

9. Рослесхоз: более 70% лесничеств в городских лесах внесены в ЕГРН. – URL: https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-bolee-70-lesnichestv-v-gorodskikh-lesakh-vneseny-v-egrn-n10903/ (дата обращения: 10.08.2025)

10. Сохранение лесов. Экологическое благополучие / Национальные проекты России. – URL: https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/ekologicheskoe-blagopoluchie/ sokhranenie-lesov/ (дата обращения: 10.08.2025)

11. ФАО. 2024. Устойчивость в цифрах. Лесная статистика в ФАО / Рим, 2024.– 122 с. – URL: https://doi.org/10.4060/cc7561ru (дата обращения: 10.08.2025)

References

1. Departamenty lesnogo hozyajstva. – URL: https://rosleshoz.gov.ru/agency/territorial/ (Accessed: 10.08.2025)

2. Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., Kaganov V. V. The ecosystem services and spatial distribution of protective forests in Russian Federation i / Russian Journal of Forest Science, 2021.– № 6, S. 581–592

3. Areas with special conditions of use and green areas of cities / E.V. Potapova, M. S. Krasavceva, YU. V. Bezborodova, A. A. Makarov // Biospheric compatibility: human, region, technologies, 2021. –№1. – S.63–76.

4. Lesnoj kompleks. – URL: https://irkobl.ru/region/economy/forest/ (Accessed: 10.08.2025)

5. Lukina N. V. Formirovanie rynka ekosistemnyh uslug lesov – napravleniya sovershenstvovaniya rossijskogo lesnogo zakonodatel'stva. – URL: https://cepl.rssi.ru/wp-content/uploads/2017/11/Ekosistemnye-uslugi-lesov_Lukina.pdf (Accessed: 10.08.2025)

6. Obobshchennye dannye Gosudarstvennogo lesnogo reestra. – URL: https://rosleshoz.gov.ru/activity/forest-register/ (Accessed: 10.08.2025)

7. Primenenie regional'noj geoinformacionnoj sistemy «Umnyj les» pri upravlenii lesnym hozyajstvom Permskogo kraya / T. S. Vorob'eva, L. A. Belov, YA.YU. Ketova, K.V. Galka// Lesa Rossii i hozyajstvo v nih. 2023. – № 1. – S. 74–80

8. Programma UN-REDD. – URL: https://www.un-redd.org/ (Accessed: 10.08.2025)

9. Rosleskhoz: bolee 70% lesnichestv v gorodskih lesah vneseny v EGRN. – URL: https://rosleshoz.gov.ru/news/federal/rosleskhoz-bolee-70-lesnichestv-v-gorodskikh-lesakh-vneseny-v-egrn-n10903/ (Accessed: 10.08.2025)

10. Sohranenie lesov. Ekologicheskoe blagopoluchie / Nacional'nye proekty Rossii. – URL: https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/ekologicheskoe-blagopoluchie/ sokhranenie-lesov/ (Accessed: 10.08.2025)

11. FAO. 2024. Ustojchivost' v cifrah. Lesnaya statistika v FAO / Rim, 2024.– 122 c. – URL: https://doi.org/10.4060/cc7561ru (Accessed: 10.08.2025)

DOI: 10.58168/Forestry2025_837-842
УДК 630 6

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОРОД В СОРТИМЕНТАХ ДРЕВЕСИНЫ

В.М. Сидоренков[1], Ю.С. Ачиколова[2], А.А. Мартынюк[3], С.К. Тадорошко[4], Е.М. Сидоренкова[5], Д.О. Астапов[6], О.В. Рябцев[7], А.В. Сережкин[8]

[1] канд. с.-х. наук, и.о. директора,
[2] зав. лабораторией динамики леса,
[3] доктор с.-х. наук, научный руководитель,
[4] вед. инженер лаборатории геоинформационных технологий,
[5]зав. лабораторией геоинформационных технологий,
[6] зав. лабораторией лесоустройства и лесной таксации,
[7]зав. отделом инноваций, внедрения и лесного проектирования
[8]главный аналитик
Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Пушкино, Московская обл.,Россия

Аннотация. В работе проведен анализ различных систем определения объема и породного состава древесины в штабелях и на прицепах лесовозов. Выделены перспективные программные средства, позволяющие проводить измерения объема древесины в штабелях и на прицепах лесовозов на основе анализа фотоизображений, в том числе с использованием технологий компьютерного зрения. В статье приводятся примеры использования современной технологии компьютерного зрения на основе модели YOLO для определения породного состава древесины. Результаты показали высокую точность распознавания пород деревьев с применением компьютерного зрения. Обученная нейросеть может использоваться в различных программных продуктах, где определение объема древесины осуществляется на основе анализа фото- или видеоизображений.

Ключевые слова: сортименты древесины, распознавание пород, штабеля, прицепы лесовозов, YOLO, разметка данных, обучение нейросети.

FEATURES OF APPLYING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES FOR WOOD SPECIES RECOGNITION IN TIMBER ASSORTMENTS

V.M. Sidorenkov [1], Yu.S. Achikolova [2], A.A. Martynyuk [3], S.K. Tadoroshko [4], E.M. Sidorenkova [5], D.O. Astapov [6], O.V. Ryabtsev [7], A.V. Serezhkin [8]

[1] Ph.D. in Agricultural Sciences, Acting Director,
[2] Head of the Forest Dynamics Laboratory,
[3] Dr. Sci. in Agricultural Sciences, Scientific Supervisor,
[4] Lead Engineer, Laboratory of Geoinformation Technologies,
[5] Head of the Laboratory of Geoinformation Technologies,
[6] Head of the Laboratory of Forest Management and Forest Inventory,
[7] Head of the Department of Innovation, Implementation and Forest Planning,
[8] Chief Analyst
All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry (VNIILM) Pushkino, Moscow Region, Russia

© Сидоренков В. М., Ачиколова Ю. С., Мартынюк А. А., Тадорошко С. К., Сидоренкова Е. М., Астапов Д. О., Рябцев О. В., Сережкин А. В., 2025

Abstract. The study analyzes various systems for determining the volume and species composition of timber in stacks and logging trucks trailers. Promising software tools are identified for measuring the timber volume based on photo image analysis, including the computer vision technologies. The article provides examples of applying modern computer vision technology based on the YOLO model to define the timber species composition. The results demonstrated high accuracy in recognizing tree species be means of computer vision. The trained neural network can be used in various software products that determine timber volume based on photo or video image analysis.

Keywords: timber assortment, species recognition, stacks, logging trailers, YOLO, data labeling, neural network training.

Введение

Оценка объемов древесины имеет решающее значение при учёте штабелей круглого леса и при перевозке древесины. Проведение работ по измерению объёмов круглого леса необходимо на протяжении всей логистической цепочки и одинаково актуально как для поставщиков, так и для переработчиков древесины. Результаты измерения объемов лесоматериалов в одном и том же штабеле различаются при измерении диаметров бревен различными способами: с помощью харвестерных измерительных систем, путем измерения диаметров бревен через короткие промежутки времени посредством электронных 3D-систем, систем, использующих алгоритмы компьютерного зрения, или измерения вручную. Развитие технологий по измерению древесины в штабелях показывает, что лесная промышленность заинтересована в разработке методов и систем измерения, чтобы иметь более дешевый и эффективный способ определения объема древесины, который в одинаковой степени может быть использован как при фотометрическом способе получения данных, так и с другими современными технологиями.

Для решения задач автоматизации определения объемов лесоматериалов разработаны различные методы и модели, в том числе базирующиеся на 3D-имитации и анализе фотоизображений. Одна из таких моделей описывается в работе, выполненной группой исследователей из Королевской лесной академии Эберсвальде [9; 10]. Модель генерирует виртуальные штабеля древесины на основе одного индивидуального набора данных о бревнах, который может быть получен автоматически или задан пользователем. Технология с учетом доработки получила практическое реализацию в работе Berendt F. с соавторами [4]. На основе группы оптических камер формировалась 3-D модель штабеля. Отличием технологии от ранее рассмотренной являлась возможность получения изображений с камер на портативных устройствах. Компанией Dralle A/S [5] для определения объема древесины в штабеле использовались стереокамеры, которые были установлены на крыше автомобиля. Стереокамеры позволяли в оперативном режиме также получать измерения с погрешностью не более 3%.

Развитие систем измерения лесоматериалов на основе технологий искусственного интеллекта привело к появлению программ, сочетающих методы измерения сортиментов древесины по фотоизображениям и классификации сортиментов по качеству древесины. Одним из примеров таких подходов является программный комплекс «NeuroWood» [2], в котором реализованы технологии на основе машинного зрения и искусственного интеллекта. Программный продукт может использоваться в стационарном варианте и на мобильных устройствах. В программе применены сверточные нейросети глубокого обучения. Алгоритм выполняет сегментацию сортиментов, заключающуюся в распознавании каждого сортимента в штабеле, даже если имеются частичные перекрытия друг друга. Для каждого распознанного бревна система определяет его диаметр в случае стационарной установки длины. После обработки результатов распознавания система может интегрировать их программу 1С. Другим программным продуктом в области учета древесины является Smart Timber [13]. Программный комплекс представлен мобильным

приложением с интегрированным веб-кабинетом. Программа предназначена для автоматизации процесса сбора данных по заготовке и перемещению древесины на предприятии.

Перечисленные программные продукты позволяют полностью автоматизировать процесс измерения древесины при заготовке леса, складировании и перевозке на лесовозах. Многие из этих систем используют алгоритмы обработки данных на основе нейросетей или компьютерного зрения. Значительная часть систем стационарного измерения объема сортиментов на лесовозах оперирует высокоточными датчиками лазерного сканирования в сочетании с оптическими камерами высокого разрешения. В целом существующие технологические разработки позволяют создавать роботизированные системы учета потоков древесины на лесовозах в рамках логистических цепочек контроля. Несмотря на неплохие возможности осуществления задач по измерению объемов древесины, еще недостаточно развиты методы определения породного состава, а также качества древесины сортиментов в штабеле или на лесовозе. Решение этих вопросов непосредственно связано с использованием технологий компьютерного зрения.

Компьютерное зрение, несмотря на уже более чем полувековую историю его развития, является новым направлением в науке. Практическая реализация алгоритмов и технологий компьютерного зрения стала возможна в настоящее время благодаря электронно-вычислительной технике с графическими процессорами обработки информации с применением свёрточных сетей глубокого обучения.

Анализ литературных источников [1, 3, 12] показывает наличие свободно распространяемого программного кода: для целей проекта подходит несколько библиотек, на которых можно осуществить развертывание алгоритмов компьютерного зрения. К одной из самых распространенных и мощных библиотек машинного обучения можно отнести PyTorch [7]. Библиотека представляет гибкую платформу для разработки нейросетей с использованием технологий компьютерного зрения, преимуществом её является автоматизация процессов разработки и выполнения программы. В отличие от других фреймворков PyTorch обеспечивает моментальную автоматизацию процесса вычисления графа операций. При автоматизации также вычисляются веса и по градиенту показывается, как нужно их изменить, чтобы уменьшить ошибку. В библиотеке содержится большое количество готовых моделей, которые можно использовать при разработке собственных проектов. Преимущества данной технологии использованы при создании библиотек компьютерного зрения DeepForest [11], YOLO [8].

Другой распроданной библиотекой является Keras [6]. Её преимущество состоит в простом использовании и доступности. Технология имеет инструменты, интегрированные в различные системы разработки программных продуктов, что дает возможность её широкого применения.

Материалы и методы. Основной целью исследований являлось определение породного состава сортиментов на лесовозах и штабелях. Реализация цели требовала выполнения следующих задач:

- **Распознавание объектов** (Object Detection) – идентификация и локализация объектов на изображении;

- **Классификация изображений** – отнесение изображения к определенному классу (архитектура ResNet, EfficientNet);

- **Сегментация** – разделение изображения на области (модели U-Net, Mask R-CNN).

При проведении исследований рассматривались два варианта использования технологий: на базе библиотек PyTorch и Keras. Более гибкие технологические решения в библиотеке PyTorch дают возможность разработки самостоятельных продуктов, таких как YOLO. В программном продукте содержится несколько вариантов нейросетей, которые можно использовать в зависимости от оборудования, сложности задачи и получения необходимых вариантов расчета.

Распознавание объектов с использованием библиотеки YOLO основано на алгоритмах обработки изображения, позволяющих осуществлять определение сортиментов древесины и проводить их сегментацию, выделение на изображении. Сегментация изображений – фундаментальная задача компьютерного зрения, которая включает в себя разбиение изображения на несколько сегментов или областей, каждая из которых соответствует различным объектам или частям объектов. Основная цель сегментации изображений – упростить представление изображения, сделать его более содержательным и простым для анализа. После определения (распознавания) и сегментации отрезов сортиментов древесины осуществляется их классификация по породному составу, смысл которой состоит в автоматическом присвоении каждому элементу на изображении определенной категории, в данном случае – породы дерева.

Решение задачи классификации проводилось с использованием свёрточной сети на основе технологий YOLO v.8 Ultralytics. YOLO – семейство моделей для обнаружения объектов и сегментации изображений в реальном времени, разработанных компанией Ultralytics.

Ключевым аспектом применения нейросетей является их обучение на большом массиве данных. В качестве обучающей выборки использовано белее 200 фотографий прицепов лесовозов с сортиментами древесины и 30 фотографий штабелей сортиментов древесины. Разметка дынных по породам осуществлялась в программном комплексе Label Studio [14].

В результате разметки фотографий по каждой породе получилось около 1000 наблюдений для целей обучения нейросети.

Программное обеспечение YOLO позволяет использовать 5 моделей, в зависимости от размера данных, оборудования, на котором будет проводиться обучение, и требований к получаемой точности результатов. Проведенный эксперимент по возможностям различных моделей определять породный состав насаждений показал, что наиболее точные результаты по сравнению с другими позволяет получить модель medium (рис 1). Основным её преимуществом является возможность обучения нейросети на оборудовании с графическим процессором на базе видеокарты NVIDIA RTX 3080. Использование сетей типа «large», требует применение профессионального оборудования, что затруднительно в большинстве научно-исследовательских организаций.

Рис. 1. Результаты обработки пачек сортиментов на лесовозах с использованием обученной нейросети (S – сосна, B – береза, L – липа)

Существующие ограничения на применение технологии связаны с особенностями классификации данных при обучении. Сортименты, которые загрязнены землей в процессе их трелевки или транспортировки, могут определяться не верно. Решение проблемы возможно введением дополнительного класса в процессе разметки данных.

В целом результаты проведенной работы показали высокую точность распознавания пород деревьев в пачках сортиментов на лесовозах. Точность распознавания в большинстве случаев превышает 70%. Высокая скорость обработки данных позволяет автоматизировать процесс распознавания пород в пачках и штабелях сортиментов. Обученную нейросеть легко интегрировать в различные программные продукты систем учета древесины.

Вывод. В заключении можно отметить, что применение компьютерного зрения для распознавания сортиментов древесины демонстрирует высокую эффективность и, как следствие – перспективность метода. Современные алгоритмы машинного обучения в сочетании с новыми сенсорными технологиями позволяют создавать полностью автоматизированные системы контроля оборота и качества древесины. Дальнейшее развитие направления связано с повышением точности распознавания и снижением стоимости внедрения технологий, совершенствованием алгоритмов разметки данных.

Развитие технологий измерения параметров древесины в местах складирования и при транспортировке с использованием высокоточных, мобильных (не стационарных) измерительных средств (приборов), легких и компактных, простых в управлении, с длительным запасом автономной работы, позволит обеспечить необходимую оперативность и точность осуществления контроля при учете древесины во время контрольных (надзорных) мероприятий.

Список литературы

1. Войтов Д.Ю., Васильев С.Б., Кормилицын Д.В. Разработка технологии определения породы деревьев с применением компьютерного зрения//Лесной вестник / Forestry bulletin, 2023, Т. 27, N 1, С. 60-66.
2. Проект neurowood. Применение AI/CV в лесной отрасли. – URL: https://neurowood.ru/ (дата обращения: 12.08.2025).
3. Чирышев Ю.В., Атаманова А.С. Распознавание круглых лесоматериалов с помощью случайных решающих деревьев и гистограммы направленных градиентов//Фундаментальные Исследования, 2017, N 1, С. 124-128.
4. Berendt F., de Miguel-Díez F., Wallor E., Blasko L., Cremer T. Comparison of different approaches to estimate bark volume of industrial wood at disc and log scale//Scientific Reports, 2021, Т. 11, N 1, С. 15630.
5. Dralle – Measurements you can trust. – URL: https://dralle.dk/ (дата обращения: 12.08.2025).
6. Gulli A., Pal S. Deep Learning with Keras/Google-Books-ID: 20EwDwAAQBAJ. – Packt Publishing Ltd, 2017. – 310 p.
7. Imambi S., Prakash K.B., Kanagachidambaresan G.R. PyTorch//Programming with TensorFlow: Solution for Edge Computing Applications/ eds. K.B. Prakash, G.R. Kanagachidambaresan. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 87-104.
8. Jiang P., Ergu D., Liu F., Cai Y., Ma B. A Review of Yolo Algorithm Developments: The 8th International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2020 & 2021): Developing Global Digital Economy after COVID-19//Procedia Computer Science, 2022, Т. 199, С. 1066-1073.
9. de Miguel-Diez F., Purfürst T., Acuna M., Tolosana-Esteban E., Cremer T. Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters: a comprehensive literature review for America and Europe//Silva Fennica, 2023, Vol. 57, Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters, No. 1, P. 1-47.

10. de Miguel-Díez F., Guigue P., Pettenkofer T., Tolosana-Esteban E., Purfürst T., Cremer T. Development and evaluation of a novel 3D simulation software for modelling wood stacks//PloS one, 2022, T. 17, N 3, C.

11. Open Source Data Labeling. - URL: https://labelstud.io/ (дата обращения: 01.09.2025).

12. Sidorenkov V., Achikolova I., Ryabtsev O., Kapitalinin D. Using YOLOv8 for interpreting survey data of high spatial resolution in the visible spectrum range//The 4th International Electronic Conference on Forests. – Basel, Switzerland: MDPI, 2024.

13. Smart Timber. - URL: https://smart-timber.com (дата обращения: 12.08.2025).

14. Zhou Z.-H., Feng J. Deep forest//National Science Review, 2019, T. 6, N 1, C. 74-86.

References

1. Войтов Д.Ю., Васильев С.Б., Кормилицын Д.В. Разработка технологии определения породы деревьев с применением компьютерного зрения//Лесной вестник / Forestry bulletin, 2023, T. 27, N 1, C. 60-66.

2. Проект neurowood. Применение AI/CV в лесной отрасли. – URL: https://neurowood.ru/ (дата обращения: 12.08.2025).

3. Чирышев Ю.В., Атаманова А.С. Распознавание круглых лесоматериалов с помощью случайных решающих деревьев и гистограммы направленных градиентов//Фундаментальные Исследования, 2017, N 1, C. 124-128.

4. Berendt F., de Miguel-Díez F., Wallor E., Blasko L., Cremer T. Comparison of different approaches to estimate bark volume of industrial wood at disc and log scale//Scientific Reports, 2021, T. 11, N 1, C. 15630.

5. Dralle – Measurements you can trust. – URL: https://dralle.dk/ (дата обращения: 12.08.2025).

6. Gulli A., Pal S. Deep Learning with Keras/Google-Books-ID: 20EwDwAAQBAJ. – Packt Publishing Ltd, 2017. – 310 p.

7. Imambi S., Prakash K.B., Kanagachidambaresan G.R. PyTorch//Programming with TensorFlow: Solution for Edge Computing Applications/ eds. K.B. Prakash, G.R. Kanagachidambaresan. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 87-104.

8. Jiang P., Ergu D., Liu F., Cai Y., Ma B. A Review of Yolo Algorithm Developments: The 8th International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2020 & 2021): Developing Global Digital Economy after COVID-19//Procedia Computer Science, 2022, T. 199, C. 1066-1073.

9. de Miguel-Diez F., Purfürst T., Acuna M., Tolosana-Esteban E., Cremer T. Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters: a comprehensive literature review for America and Europe//Silva Fennica, 2023, Vol. 57, Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters, No. 1, P. 1-47.

10. de Miguel-Díez F., Guigue P., Pettenkofer T., Tolosana-Esteban E., Purfürst T., Cremer T. Development and evaluation of a novel 3D simulation software for modelling wood stacks//PloS one, 2022, T. 17, N 3, C.

11. Open Source Data Labeling. - URL: https://labelstud.io/ (дата обращения: 01.09.2025).

12. Sidorenkov V., Achikolova I., Ryabtsev O., Kapitalinin D. Using YOLOv8 for interpreting survey data of high spatial resolution in the visible spectrum range//The 4th International Electronic Conference on Forests. – Basel, Switzerland: MDPI, 2024.

13. Smart Timber. - URL: https://smart-timber.com (дата обращения: 12.08.2025).

14. Zhou Z.-H., Feng J. Deep forest//National Science Review, 2019, T. 6, N 1, C. 74-86.

DOI: 10.58168/Forestry2025_843-850
УДК 630.2

ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В НИЖНЕМ ПРИАНГАРЬЕ

В. А. Соколов
д.с.х.н., профессор, зав. лабораторией таксации и лесопользования,
Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Россия
О. П. Втюрина
научный сотрудник лаборатории таксации и лесопользования,
Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Россия
Н. В. Соколова
к.с.х.н., ст.н.с. лаборатории таксации и лесопользования,
Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Россия

Аннотация. Основной ущерб лесам в Нижнем Приангарье наносят пожары. Учет ущерба от пожаров, включая возможные последствия в виде деградации лесных экосистем и лесорастительных условий, является важнейшим элементом оценки лесохозяйственной деятельности в лесничествах в сфере охраны леса с экологических, лесоводственных и экономических позиций. Сделан вывод о необходимости серьезной корректировки действующего порядка исчисления ущерба от лесных пожаров.

Ключевые слова: *Нижнее Приангарье, лесные пожары, потери древесины, отпад, затраты на тушение, оценка ущерба*

FOREST FIRE DAMAGE ASSESSMENT IN THE LOWER ANGARA REGION

V. A. Sokolov
D. Sc. Agr., Prof., Chief of Laboratory of Forest Inventory and Forest Use
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science Siberian Branch, Russia
O. P. Vtyurina
Researcher of Laboratory of Forest Inventory and Forest Use
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science Siberian Branch, Russia
N. V. Sokolova
PhD Agr., Senior Researcher of Laboratory of Forest Inventory and Forest Use
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science Siberian Branch, Russia

Annotation.
The main damage to the forests of the Lower Angara Region is caused by fires. Accounting for fire damage, including possible consequences in the form of degradation of forest ecosystems and forest vegetation conditions, is an essential element in assessing forest management activities in the field of forest protection from ecological, forestry and economic perspectives. It is concluded that there is a need for serious adjustments to the current procedure for calculating damage from forest fires.

Kew words: *Lower Angara region, forest fires, losses of wood, mortality, fire extinguishing costs, damage assessment*

Высокая природная пожарная опасность связана с преобладанием в Приангарье сосново-лиственничных лесов (около 50 % покрытых лесом земель) [2, 4, 8]. Учет

© Соколов В. А., Втюрина О. П., Соколова Н. В., 2025

последствий воздействия пожаров, возникающих как в процессе горения, так и после пожара через какой-то период времени, необходим для определения общей оценки ущерба от них [2, 3, 9]. К этим последствиям обычно относятся потери флоры и фауны, трансформация почвы, снижение или потеря водоохранных, почвозащитных, рекреационных и прочих функций леса, потери древесины, в том числе в виде последующего отпада ослабленных деревьев, пораженных вредителями леса. Отпад продолжается, как правило, от 2 до 7 лет [3, 5, 6].

Из вышеизложенного становится очевидным, что вероятный ущерб от лесных пожаров может быть только неполным, поскольку для учета многих последствий нет разработанных объективных методик. Прежде всего это относится к оценке снижения или потерь лесными экосистемами средозащитных функций.

В работе применялся аналитико-статистический метод исследований. Анализу подлежали нормативно-правовые акты в области охраны лесов от пожаров и пожарной безопасности, а также материалы по 15 лесным пожарам, возникшим в Нижнем Приангарье в 2019 г. (таблица 1).

Общая площадь 15 лесных пожаров при ликвидации составила 70485 га, а средняя площадь 1 пожара – 4723 га, средняя площадь при обнаружении пожара – 40 га. Если исключить из подсчетов пожар № 14, то средняя площадь пожара при обнаружении будет равна 7 га. Пожар № 14 был обнаружен 05.07.2019 г. на площади 500 га в Бедобинском участковом лесничестве Гремучинского лесничества. В этом же лесничестве 03.07.2019 г. были обнаружены пожары № 12 и 13 на площади 15 и 10 га соответственно. По всей вероятности, эти пожары замаскировали пожар № 14, и он был обнаружен с запозданием.

Анализируемые пожары были ликвидированы в течение от 5 до 20 дней, в среднем за 12 дней. Какой-то зависимости сроков тушения оп площади пожаров не выявлено.

Все приведенные в таблице 1 пожары находились в авиационной зоне охраны лесов и отнесены к крупным (более 200 га). В зоне наземной охраны крупными считаются пожары площадью более 25 га.

По каждому лесному пожару лесничеством проводится служебное расследование. К акту служебного расследования прикладываются многочисленные документы: акт о лесном пожаре, приказ о создании комиссии, решение штаба лесничества по тушению пожара, план-схема пожара, докладная записка руководителя о ходе тушения пожара, таксационное описание, справка о расчете ущерба, справка о затратах на тушение лесного пожара, фотографии, видеозаписи и др. По итогам ликвидации оформляется журнал по учету затрат на тушение (ликвидацию) лесного пожара. Материалы по лесным пожарам в течение 10 дней после ликвидации пожара направляются в отдел охраны и защиты лесов Министерства природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края.

В настоящее время отсутствует утвержденный в установленном порядке отдельный методический документ, определяющий порядок исчисления размера ущерба, причиненного лесам вследствие лесных пожаров. Учитывая это, Рослесхоз письмом от 24.10.2019 г. № МК-09-27/20734 при расчете реального ущерба вследствие лесных пожаров предложил использовать постановление Правительства Российской Федерации от 22.09.2007 г. № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставок платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности» и статью 15 Гражданского кодекса Российской Федерации. В случае подтверждения уполномоченными органами дознания и следствия фактов нарушения лесного законодательства должен производиться пересчет ущерба в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 29.12.2018 г. № 1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства» (далее – Постановление 1730).

Если лесные пожары возникли от природных явлений, не связанных с нарушением лесного законодательства, то таксы (кратность) Постановления 1730 не применяются (письмо Рослесхоза от 29.10.2018 г. № НК-09-54/18008).

Следует сделать пояснение на предмет отсутствия утвержденного в установленном порядке отдельного методического документа, определяющего порядок исчисления размера ущерба, причиненного лесам вследствие лесных пожаров. Вообще-то такой документ есть, и Рослесхоз об этом знает. В свое время в целях обеспечения единого подхода органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации к документальному оформлению последствий лесных пожаров, учету повреждений и потерь древесины на корню в результате лесных пожаров, а также установления вида пожара и его интенсивности Рослесхоз письмом от 18.05.2012 г. № ЕТ-09-54/5504 направлял «Рекомендации по учету повреждений и потерь древесины в результате лесного пожара». В свою очередь эти рекомендации были подготовлены на основе приказа Федеральной службы лесного хозяйства России от 03.04.1998 г. № 53 «Об утверждении инструкции по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами».

Таблица 1. Некоторые данные о лесных пожарах в Нижнем Приангарье в 2019 г.

Номер пожара	Лесничество	Участковое лесничество	Дата обнаружения	Начало тушения	Окончание тушения	Площадь при обнаружении, га	Площадь при ликвидации, га
32	Кодинское	Недокурское	27.06	27.06	15.07	2	7100
12	Гремучинское	Бедобинское	03.07	03.07	12.07	15	14300
82	Абанское	Почетское	30.07	30.07	13.08	5	6100
43	Кодинское	Ковинское	04.07	04.07	14.07	2	500
94	Тунгусско-Чунское	Чемдальское	19.07	19.07	05.08	4	1300
13	Гремучинское	Бедобинское	03.07	03.07	08.07	10	1500
24	Гремучинское	Бедобинское	29.07	29.07	13.08	0.5	4000
41	Кодинское	Недокурское	03.07	03.07	12.07	1	1500
92	Тунгусско-Чунское	Чемдальское	19.07	19.07	05.08	5	1300
24А	Кодинское	Кежемское	22.06	22.06	03.07	2	1050
83	Тунгусско-Чунское	Чемдальское	17.07	17.07	26.07	2	2000
51	Тунгусско-Чунское	Чемдальское	12.07	12.07	02.08	5	8000
14	Гремучинское	Бедобинское	05.07	05.07	17.07	500	8000
7	Терянское	Верхне-Терянское	02.07	02.07	16.07	2	13200
12А	Хребтовское	Пашутинское	06.07	06.07	16.07	45	995

Если сравнивать вышеуказанные рекомендации и инструкцию, то можно сделать вывод, что рекомендации являются слабым подобием предыдущей инструкции.

По инструкции суммарный ущерб от лесного пожара включает:

– стоимость потерь древесины на корню в средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных насаждениях;

– ущерб от повреждения молодняков естественного и искусственного происхождения;

– ущерб от повреждения ресурсов побочного лесопользования;

– расходы на тушение лесных пожаров;

– стоимость сгоревших объектов и готовой продукции в лесу (снижение стоимости объектов и готовой продукции, поврежденных пожаром);

– расходы на расчистку горельников и дополнительные санитарные рубки в насаждениях, поврежденных лесными пожарами;

– ущерб от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохранных и других средообразующих функций леса;

– ущерб от загрязнения воздушной среды продуктами горения;

– ущерб от гибели животных и растений, включая занесенных в Красную книгу Российской Федерации;

– другие потери.

К другим потерям могут быть отнесены затраты и убытки, которые причинены другим отраслям в результате действия лесных пожаров (временное прекращение судоходства, авиаполетов, автомобильного и железнодорожного движения, деятельности изыскательских партий, домов и лагерей отдыха, туристических баз. Эти затраты и убытки могут включаться в общий ущерб от лесных пожаров при предоставлении лесничеству или Министерству лесного хозяйства справок о понесенных убытках, оформляемых в установленном порядке. Эти убытки в протокол о лесном пожаре не включаются, но учитываются органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации при определении общего ущерба от лесных пожаров.

Из Инструкции 1998 г. в Рекомендации 2012 г. в суммарный ущерб от лесного пожара были включены только стоимость древесины на корню в средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных насаждениях и ущерб от повреждения молодняков естественного и искусственного происхождения. Остальные виды ущерба были проигнорированы. По всей вероятности, составителей Рекомендаций не устроили методические аспекты определения ущерба от этих видов, а также значительное усложнение учета убытков и потерь от лесных пожаров.

Поэтому при расчете потерь от анализируемых лесных пожаров лесничества базировались на рекомендациях 2012 г. (таблица 2).

По итогам обработки 15 журналов учета затрат на тушение лесных пожаров суммарный ущерб составил 756.9 млн руб., в том числе затраты на тушение – 40.6 млн руб. (5.4 %), стоимость потерь древесины на корню – 458.1 млн руб. (60.5 %), ущерб от повреждения молодняков – 258.2 млн руб. (36.1 %). Средний ущерб на 1 га от лесных пожаров равен 14022 руб. Ранее мы определяли ежегодный ущерб от лесных пожаров в Нижнем Приангарье в 5.8 тыс. руб. на 1 га, а суммарный ежегодный ущерб в 1 млрд руб. [5].

Для сравнения с вышеназванными цифрами приведем расчет ущерба от 15 анализируемых лесных пожаров в соответствии с Инструкцией 1998 г. с учетом всех видов потерь и убытков.

Ущерб от повреждения лесным пожаром ресурсов побочного пользования. Ущерб рассчитывается по каждому повреждаемому ресурсу с учетом эксплуатационной площади, на которой поврежден соответствующий ресурс, величины эксплуатационного урожая на 1 га и ставок платы, взимаемых за единицу лесного ресурса. В практике эксплуатационный урожай принимается обычно в размере 50 % от биологического урожая.

Биологический урожай определяли по шкалам урожайности ягодников и грибов лесотаксационного справочника для южно-таежных лесов Средней Сибири [7]. Средний

биологический урожай брусничников равен 100 кг/га, черничников – 80 кг/га, грибов – 10 кг/га. Средний эксплуатационный урожай равен соответственно 50, 40 и 5 кг/га.

Ставки платы за единицу объема пищевых лесных ресурсов принимали в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 22.05.2007 г. № 310 1 кг ягод – 1.44 руб., 1 кг грибов – 3.6 руб. Эксплуатационная площадь с поврежденным ресурсом принята в размере 50 % от общей площади пожаров или 35 422 га. Лесорастительные условия для роста ягод и грибов восстанавливаются в среднем за 5–10 лет [2, 3]. Следовательно, минимальный период действия ущерба для дикорастущих ягод и грибов принимается 5 лет.

Таблица 2. Ущерб от лесных пожаров, руб.

Номер пожара	Затраты на тушение	Стоимость потерь древесины на корню	Ущерб от повреждения молодняков	Суммарный ущерб	Ущерб на 1 га
32	5630145	115430128	22208449	143268722	20179
12	1558208	56697638		58255846	4074
82	2820600	13810738	207041354	223672692	36668
43	2720000	8562505		11282505	22566
94	2086902	19533891		21620793	16631
13	80956	15177767	2544444	17803167	11869
24	3801040	7470981		11272021	2818
41	799272	39308969	13783803	53892044	35928
92	3427164	11871525		15298689	11768
24А	4230653	824771		5055424	4815
83	1101462	16630380		17731842	8866
51	2548202	43584600		46132802	5767
14	2720597	85745982		88466579	11058
7	5105437	22891046		27996483	2121
12А	2006077	534640	12583147	15123854	15200

Таким образом, минимальный ущерб от повреждения лесным пожаром ресурсов побочного пользования за 5-летний период 35422 га × 1.44 руб. × 45 кг/га × 5 лет + 35422 га× 3.6 руб.× 5 кг/га × 5 лет = 14 664 708 руб.

В соответствии с Инструкцией 1998 г. (п. 19) при отсутствии данных об эксплуатационной урожайности, ставок платы и нормативов повреждаемости ресурсов лесными пожарами размер ущерба принимается на уровне 5 % от суммарной стоимости потерь древесины и ущерба от повреждения молодняков искусственного и естественного происхождения. Если применить этот пункт, то величина ущерба будет равна 35 811 838 руб. или в 2.4 раза больше.

Ущерб, причиненный повреждением или уничтожением лесным пожаром имущества в лесу

Такой ущерб протоколами о лесном пожаре не определялся.

Расходы на расчистку горельников и проведение дополнительных санитарных рубок в насаждениях, поврежденных лесным пожаром

Исходя из материалов о лесных пожарах, такие работы, включая последующее искусственное лесовосстановление, потребуются на площади 15120 га. Сложившийся за последние годы уровень затрат составляет 113 000 руб./га. Общая сумма расходов составит 1 708 560 000 руб.

Ущерб от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохранных и других средообразующих функций леса

Этот ущерб определяется умножением суммы ущербов от потерь древесины на корню и от повреждения молодняков на коэффициент экологической значимости лесов в соответствии с приложением 5 Инструкции. Коэффициенты экологической значимости составляют для водоохранных лесов: запретные полосы лесов по берегам рек, озер, водохранилищ и других водных объектов – 2.5; для эксплуатационных лесов – 0.5.

Сумма ущерба от потерь древесины и повреждения молодняков в водоохранных лесах составила 21 487 103 руб., в эксплуатационных – 694 749 655 руб. Следовательно, общая сумма ущерба от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохранных и других средообразующих функций леса составит 21 487 103 × 2.5 + 694 749 655 × 0.5 = 401 092 586 руб.

Ущерб от загрязнения воздушной среды продуктами горения

Этот ущерб определяется по 4 видам загрязняющих веществ, выделяющихся в воздух при горении биомассы лесных насаждений: оксид углерода, углеводороды, оксид азота и взвешенные частицы. Средний удельный выброс названных веществ с 1 т сгоревшей биомассы составляет: оксид углерода – 125 кг, углеводороды – 12 кг, оксид азота – 2 кг, взвешенные частицы – 22 кг. Ущерб от каждого загрязняющего вещества устанавливается как произведение трех сомножителей: норматив платы за выброс 1 т вещества, объем выброса вещества при пожаре и коэффициенты экологической ситуации для района, где произошел лесной пожар.

Базовые нормативы платы за выброс в атмосферу 1 т загрязняющих веществ и коэффициенты экологической ситуации были утверждены Минприроды РФ 27.11.1992 г. Норматив платы в рублях за 1 т составил: оксид углерода – 0.05, углеводороды – 0.11, оксид азота – 2.75 и взвешенные частицы – 1.10. Коэффициент экологической ситуации был определен для Восточно-Сибирского экономического района в размере 1.4. Нормативы платы должны индексироваться в соответствии с темпами инфляции. Пунктом 32 Инструкции определено, что до разработки нормативов объемов сгорания органических веществ при лесных пожарах общий ущерб от загрязнения атмосферы принимается в размере 10 % от суммарного ущерба в виде стоимости потерь древесины на корню и ущерба от повреждения молодняков. Исходя из положений пункта 32, общий ущерб от загрязнения атмосферы выбросами загрязняющих веществ составил 71 623 676 руб.

Ущерб от гибели животных и растений, включая занесенных в Красную книгу Российской Федерации

Ущерб от гибели животных и растений определяется по таксам для исчисления размера взысканий за ущерб, причиненный юридическими лицами, незаконным добыванием или уничтожением животных и растений. В соответствии с пунктом 35 Инструкции впредь до разработки нормативов численности погибающих от лесных пожаров животных и растений общий ущерб от их гибели принимается в размере 5 % от ущерба, причиняемого в виде стоимости потерь древесины на корню, и ущерба от повреждения молодняков искусственного и естественного происхождения. Исходя из этого пункта, ущерб от гибели животных и растений составил 35 811 838 руб.

Другие потери

По другим потерям информация отсутствует.

Таким образом, общий ущерб от анализируемых лесных пожаров с учетом затрат на тушение, стоимости потерь древесины на корню, ущерба от повреждения молодняков и других вышеперечисленных ущербов составил 40.6 + 458.1 + 258.2 + 35.8 + 1708.6 + 401.1 + 71.6 + 35.8 = 3 009.8 млн руб., что превышает официально зарегистрированный ущерб от пожаров на 2 293.6 млн руб. или в 4.2 раза. Средний ущерб на 1 га от лесных пожаров составил 42 484.3 руб. Напомним, что средний ущерб на 1 га по официальным данным был равен 14 022 руб.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Действующий порядок исчисления размера ущерба, причиненного лесам вследствие лесных пожаров (письмо Рослесхоза от 24.10.2019 г. № МК-09-27/20734), намного занижает эколого-экономический ущерб.

2. Поэтому при определении ущерба необходимо возвратиться к Инструкции по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами, утвержденной приказом Федеральной службы лесного хозяйства России от 03.04.1998 г. № 53.

3. Для более объективного определения ущерба по Инструкции 1998 г. необходимо определение и уточнение лесных ставок и такс, нормативов урожайности продуктов побочного пользования, загрязняющих веществ, численности погибающих от пожаров животных и растений, учет затрат и убытков, которые несут другие отрасли народного хозяйства в результате действия лесных пожаров.

4. В действующем порядке исчисления размера ущерба, причиненного лесам вследствие лесных пожаров, не учтены потери поглощения лесными экосистемами углерода и выделения кислорода. Эти потери могут составлять значительные величины. Оценка стоимости поглощения углерода на международном рынке колеблется от 8 до 20 евро за 1 т. Стоимость выделения 1 т кислорода может составлять от 8 до 9 тыс. руб., исходя из цены его промышленного производства. По С. В. Белову [1], поглощение CO_2 в 100-летнем возрасте древостоя за вегетационный период может составлять от 11 до 13 т/га, выделение O_2 – 9–10 т/га. Принимая потери биомассы на анализируемой площади лесных пожаров в размере 50 %, потери за счет поглощения углерода могут составить 425070 т, за счет выделения кислорода – 336514 т, или соответственно, 547.5 и 2 860.4 млн руб.

5. На основании вышеизложенного делаем вывод о необходимости серьезной корректировки действующего порядка исчисления ущерба от лесных пожаров. Резкое занижение ущерба оказывает «медвежью услугу» лесному хозяйству, поскольку не акцентируется внимание на экологических потерях от природных лесных пожаров.

Работа выполнена в рамках базового проекта научно-исследовательских работ ИЛ СО РАН № FWES-2024-0007, Рег. НИОКТР № 124012900559-4.

Список литературы

1. Белов С. В. Оценка гигиенической роли леса // Лесное хозяйство. 1964. № 1. С. 8–13.

2. Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири / Г. А. Иванова, С. Г. Конард, Д. Д. Макрае, И. Н. Бескоровайная, А. В. Богородская, С. В. Жила, В. А. Иванов, А. В. Иванов, Н. В. Ковалева, Е. Н. Краснощеков, Е. А. Кукавская, Д. Н. Орешков, В. Д. Перевозникова, Ю. Н. Самсонов, Н. Д. Сорокин, П. А. Тарасов, П. А. Цветков, А. С. Шишикин. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.

3. Иванова Г. А., Иванов А. В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.

4. Соколов В. А., Вараксин Г. С., Втюрина О. П., Горяева Е. В., Кузьмик Н. С., Соколова Н. В., Фарбер С. К. Воспроизводство лесов в Приангарье. Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 262 p.

5. Соколов В. А., Фарбер С. К., Втюрина О. П., Сухинин А. И., Пономарев Е. И. Оценка потерь от лесных пожаров в Нижнем Приангарье // ГЕО-Сибирь-2011. Т. 3. Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью. Ч. 2: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19–29 апреля 2011 г., Новосибирск. Новосибирск: СГГА, 2011. С. 132–135.

6. Софронов М. А., Гольдаммер И. Г., Волокитина А. В., Софронова Т. М. Пожарная опасность в природных условиях. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 330 с.

7. Шевелев С. Л., Кузьмичев В. В., Павлов Н. В., Смольянов А. С. Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири. М.: ВНИИЛМ, 2002. 166 с.

8. Korovin G. N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Dordrecht; Boston; London; Kluwer Academic Publisher, 1996. P. 112–128.

9. Reinhardt E. D., Keane R. E., Brown J. K. Modeling fire effects // Wildland Fire. 2001. V. 10, N. 3-4. P. 373–380.

References

1. Belov S. V. Assessment of the hygienic role of forests // Forestry. 1964. No. 1. pp. 8-13.

2. The impact of fires on the ecosystem components of the Middle Taiga pine forests of Siberia / G. A. Ivanova, S. G. Konard, D. D. Makrae, I. N. Beskorovainaya, A.V. Bogorodskaya, S. V. Zhila, V. A. Ivanov, A.V. Ivanov, N. V. Kovaleva, E. N. Krasnoshchekov, E. A. Kukavskaya, D. N. Oreshkov, V. D. Perevoznikova, Yu. N. Samsonov, N. D. Sorokin, P. A. Tarasov, P. A. Tsvetkov, A. S. Shishikin. Novosibirsk: Nauka Publ., 2014. 232 p.

3. Ivanova G. A., Ivanov A.V. Fires in the pine forests of Central Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 2015. 240 p.

4. Sokolov V. A., Varaksin G. S., Vtyurina O. P., Goryaeva E. V., Kuzmik N. S., Sokolova N. V., Farber S. K. Reproduction of forests in the Angara region. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing House, 2018. 262 p.

5. Sokolov V. A., Farber S. K., Vtyurina O. P., Sukhinin A. I., Ponomarev E. I. Assessment of losses from forest fires in the Lower Angara region // GEO-Siberia-2011. Vol. 3. Economic development of Siberia and the Far East. Economics of environmental management, land management, forestry, real estate management. Part 2: collection of materials. VII International Scientific GEO-Siberia-2011 Congress, April 19-29, 2011, Novosibirsk. Novosibirsk: SGGA, 2011. pp. 132-135.

6. Sofronov M. A., Goldammer I. G., Volokitina A.V., Sofronova T. M. Fire danger in natural conditions. Krasnoyarsk: V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2005. 330 p.

7. Shevelev S. L., Kuzmichev V. V., Pavlov N. V., Smolyanov A. S. Forest taxonomy handbook for the southern taiga forests of Central Siberia. Moscow: VNIILM, 2002. 166 p.

8. Korovin G. N. Analysis of the spread of forest fires in Russia // Fires in ecosystems of boreal Eurasia. Dordrecht; Boston; London; Kluwer Academic Publishing House, 1996. pp. 112-128.

9. Reinhardt E. D., Keen R. E., Brown J. K. Fire consequences modeling // Forest fire. 2001. Vol. 10, No. 3-4. pp. 373-380.

DOI: 10.58168/Forestry2025_851-856
УДК 533.65.013.622

БЕСПИЛОТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОЗАГОТОВКЕ: ВЫЗОВЫ, БАРЬЕРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ

Т.Н. Стородубцева, В.А. Морковин, В.В. Саврико

д. т. н., профессор кафедры Промышленного транспорта, строительства и геодезии,
к. т. н., доцент, студент

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация. В статье анализируются актуальные темы в области лесного хозяйства, а именно использование беспилотных наземных и летательных аппаратов. Выявляются преимущества и недостатки, а также описываются препятствия и проблемы для технологического совершенствования. Результаты исследования позволяют оценить готовность БПЛА и БПНА к совершенствованию процессов лесного хозяйства и ресурсов мониторинга. В настоящее время в лесной промышленности активно используются беспилотные летательные и наземные транспортные средства, что значительно сокращает временные ресурсы и повышает безопасность трудового персонала. Эти улучшения явно заменяют старые и трудоемкие методы.

Ключевые слова: беспилотные технологии, лесное хозяйство, лесная промышленность, дроны, роботизация, цифровизация, лесовосстановление.

UNMANNED TECHNOLOGIES IN LOGGING: CHALLENGES, BARRIERS AND PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION

T.N. Storodubtseva, V.A. Morkovin, V.V. Savriko

doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Industrial Transport, Construction and Geodesy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, student

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The article analyzes current topics in the field of forestry, namely the use of unmanned aerial vehicles and aircraft. The advantages and disadvantages are identified, as well as obstacles and problems for technological improvement are described. The results of the study make it possible to assess the readiness of UAVs and UAVs to use woodworking processes and monitoring resources. In on·standing in·time in harvesting actively IP·use of unmanned aerial and·earth transport with·rodstva that much with·ukrashaet in·belt resources and·make no·the risk of labor staff. These improvements clearly change simple and labor-intensive methods.

Keywords: unmanned technologies, forestry, forestry industry, drones, robotics, digitalization, reforestation.

Лесопромышленный комплекс характеризуется высокой трудоёмкостью ручного труда, рисками для здоровья работников и зависимостью от природных условий.

© Стородубцева Т. Н., Морковин В. А., Саврико В. В., 2025

Применение беспилотных технологий (БПЛА – беспилотные летательные аппараты, БПНА – беспилотные наземные аппараты) способно существенно изменить производственные процессы: от картографирования и мониторинга до автоматизированной посадки леса и внесения реагентов.

Несмотря на технологические вызовы, дроны и роботизированные комплексы остаются важной частью цифровизации лесного хозяйства. К ключевым барьерам внедрения относятся необходимость адаптации технологий к различным природным условиям, совершенствование нормативно-правовой базы, обеспечение экономической эффективности решений, а также подтверждение экологической безопасности их использования.

Целью данной статьи является анализ современных технических решений на основе беспилотных систем в области лесного хозяйства, выявление их преимуществ и недостатков, а также определение основных вызовов внедрения. По оценкам экспертов, в ближайшие пять лет рынок беспилотных решений в России может вырасти на 30–40 % за счёт внедрения технологий в сельском хозяйстве и инфраструктурных проектах [1].

Технические решения на основе беспилотных систем в области лесного хозяйства представлены на рисунке.

а – БПЛА eBee X; б – БПЛА DJI Agras T30; в – БПЛА DroneSeed; г – БПНА Tree Rover;
д – БПЛА DJI Matrice 350 RTK; е – БПНА Forester Planter
Рисунок – Технические разработки беспилотных технологий [1-5]

Планирование участка и картография

Для высокоточных аэрофотосъемочных и геодезических работ в лесозаготовке применяется картографический дрон eBee X (рисунок, а). Данный беспилотный летательный аппарат (далее – БПЛА) используется для мониторинга состояния посевов, наблюдения за изменением ландшафтов, а также создания точных 3D-моделей городских территорий.

Дрон обладает возможностью быстрого запуска, автоматической посадкой, а также возможностью управлять сразу несколькими БПЛА, однако аппарат имеет высокую стоимость продукта и ограничен в погодных условиях [1].

Внесение реагентов и борьба с вредителями

Одной из наиболее перспективных разработок является дрон DJI Agras T30, созданный для автоматизированного внесения удобрений и средств защиты растений [2]

(рисунок 1, б). Авторы проекта утверждают, что данный дрон обеспечивает равномерное распределение растворов, снижает расход химикатов, а также сокращает время обработки по сравнению с наземными машинами.

Однако его автономность полёта ограничена временем работы аккумуляторов, а эффективность распыления сильно зависит от погодных условий. Кроме того, необходима подготовка квалифицированных операторов и соблюдение нормативных требований к воздушному распылению химикатов [2].

Вместе с тем, перспективы остаются значительными. Внедрение дронов соответствует задачам точного земледелия и может существенно повысить эффективность управления аграрными процессами. Наибольший потенциал применения наблюдается у крупных агрохолдингов, тогда как для мелких и средних фермеров перспективным решением могут стать аренда и сервисные модели использования [2].

Автоматизация посадки и лесовосстановление

Для ускорения лесовосстановления компания DroneSeed предложила технологию применения беспилотников для посева и высадки саженцев (рисунок 1, в). Данный тип дрона способен рассевать семена в специальных биокапсулах с питательными веществами, высаживать сеянцы на труднодоступных территориях, обрабатывание после пожара больших площадей в кратчайшие сроки. Практические испытания показали значительное увеличение скорости высадки семян и рассады и доставки по сравнению с ручной посадкой в несколько раз [4].

Помимо БПЛА имеются и БНЛА, такой как робот TreeRover, созданный студентами Университета Виктории (Канада) (рисунок, г), разработан как мобильная платформа для посадки саженцев, проект направлен на решение задачи ускоренного возобновления лесов в условиях растущего антропогенного давления на природные экосистемы [1].

На сегодняшний день TreeRover существует в виде прототипа, успешно прошедшего ряд испытаний. Робот способен хранить до десяти сеянцев и поочерёдно высаживать их в подготовленные углубления с помощью пневматического механизма, дополнительно уплотняющего почву вокруг посадки. Данный тип БПЛА имеет ряд преимуществ, по сравнению со своими предшественниками, а именно работа на сложных участках и снижение физической нагрузки на рабочих, сокращение трудозатрат, недостатки включают в себя малую вместимость саженцев, проблему перемещения по пересеченному рельефу [7].

Робот Forester Planter предназначен для массовой посадки сеянцев и может использоваться в восстановлении лесов на выгоревших и деградированных территориях и ускоренном озеленение больших площадей (рисунок, д). Аппарат прошёл полевые демонстрации, во время которых показал способность высаживать до гектара леса за 5–6,5 часов, вмещая в контейнер до 380 сеянцев за один цикл работы, что подтверждают высокую скорость и производительность робота в сравнении с традиционной ручной посадкой [5].

Особенностью конструкции Forester Planter является рабочий механизм, формирующий локальные микроповышения на поверхности почвы и создающий посадочные места самостоятельно без предварительной подготовки грунта [5].

Универсальные решения для мониторинга

Одной из разработок последних лет является промышленный дрон DJI Matrice 350 RTK (рисунок, е). Данный аппарат ориентирован на использование в различных сферах: геодезия и картография [6], безопасность и чрезвычайные ситуации, строительство. Matrice 350 RTK прошёл сертификационные тесты производителя и на практике демонстрирует высокую точность и скорость работ. Пользователи отмечают повышение точности и скорости работ за счёт применения RTK-позиционирования и интеграции с LiDAR и мультиспектральными камерами [3].

Данный БПЛА имеет множество преимуществ по сравнению с другими, а именно, высокая точность и стабильность полёта, увеличенное время работы за счёт

усовершенствованных аккумуляторов, предотвращение от столкновений, и универсальность применения в различных отраслях лесозаготовки, из недостатков стоит отметить следующее, значительный размер и вес, и необходимость обучения квалифицированных операторов [3].

В таблице представлены ключевые характеристики рассмотренных БПЛА и БНЛА и их основные вызовы.

Таблица – Характеристики БПЛА и БНЛА

Название	Применение	Этап разработки	Вызовы
eBee X, Швейцария	аэрофотосъёмка, картография, мониторинг сельского и лесного хозяйства, экология, строительство	создан в 2018 г. компанией senseFly	высокая цена обслуживания, ограничение в плохую погоду, регуляторные барьеры полётов.
DJI Agras T30, Китай	агропестициды опрыскивание и внесение удобрений, обработка фруктовых деревьев, цифровое сельское хозяйство	флагманская модель линейки	высокая цена, эксплуатационные расходы; ограниченная автономность при полной загрузке; погодные и ветровые условия; требования к регулированию.
DroneSeed, США	восстановление лесов после лесных пожаров, рассев семян/саженцев, реабилитация земли, борьба с инвазивными видами	стартап (основан в 2015 г.)	высокая изначальная стоимость и инвестиции; эффективность зависит от условий почвы, климата; необходимость разрешений / нормативов; логистика выращивания семян/саженцев; устойчивость результатов
Tree Rover, Канада	автоматическая посадка саженцев/семян для восстановления лесов и рекультивации земель	прототип	невысокая скорость по сравнению с крупными решениями, необходимость адаптации к разным типам почв, ограниченный масштаб внедрения, стадия прототипа
Forester Planter, Эстония	автоматическая посадка саженцев в лесном хозяйстве (восстановление лесов)	прототип / опытная эксплуатация	сложный рельеф, разные виды почв, устойчивость к погодным условиям; высокая цена машины и её обслуживания; необходимость проверки выживаемости саженцев; логистика саженцев; эффективность в разных климатических зонах.

Несмотря на то, что внедрение подобных решений демонстрирует существенный рост производительности в лесном хозяйстве, их массовое применение сталкивается с серьезными экономическими и техническими барьерами. Согласно исследованию, беспилотные летательные аппараты и наземные системы значительно повышают эффективность процессов, связанных с вырубкой лесов, однако их повсеместное внедрение ограничено рядом экономических и технологических факторов.

В будущем дроны имеют потенциал стать ключевым инструментом для оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации и важным компонентом глобальных усилий по борьбе с изменением климата. Эти системы могут сыграть существенную роль в значимых экологических проектах, включая те, что направлены на снижение углеродного следа и восстановление биоразнообразия.

Перспективы развития данной технологии заключаются в расширении ее функциональных возможностей, в частности, за счет интеграции искусственного интеллекта для анализа данных, снижения стоимости оборудования и развития облачных сервисов для обработки информации.

Список литературы

1. Алексеев П. Н., Козлов С. В. Развитие беспилотных технологий в России: тенденции и перспективы // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12. – № 4. – С. 1567–1580.

2. DJI Agras T30. Technical Specifications. – Shenzhen: DJI Innovations, 2021. – URL: https://www.dji.com/agras-t30 (дата обращения: 14.09.2025).

3. DJI Matrice 350 RTK. User Manual. – Shenzhen: DJI Innovations, 2023. – URL: https://enterprise.dji.com/matrice-350-rtk (дата обращения: 14.09.2025).

4. DroneSeed. Drone-based Reforestation Services. – Seattle: DroneSeed Inc., 2022. – URL: https://www.droneseed.com (дата обращения: 14.09.2025).

5. Forester Planter. Robotic Tree Planting System. – Helsinki: Dendra Systems, 2022. – URL: https://www.dendra.io (дата обращения: 14.09.2025).

6. Пеньков В. А. Об устойчивом развитии геодезического обеспечения строительства / В. А. Пеньков, В. А. Морковин, Т. Н. Стородубцева // Циркулярная экономика для целей устойчивого развития отраслей и территорий : материалы Национальной научно-практической конференции, Воронеж, 14-15 мая 2024 г. / отв. ред. Т. Л. Ищенко ; ВГЛТУ. - Воронеж, 2024. - С. 292-298.

7. Tree Rover Project. Autonomous Tree Planting Robot. – Victoria: University of Victoria, 2020. – URL: https://treerover.ca (дата обращения: 14.09.2025).

References

1. Alekseev P. N., Kozlov S. V. The development of unmanned technologies in Russia: trends and prospects // Issues of innovative economics. – 2022. – Vol. 12. – № 4. – pp. 1567-1580.

2. DJI Agras T30. Technical Specifications. – Shenzhen: DJI Innovations, 2021. – URL: https://www.dji.com/agras-t30 (date of access: 09/14/2025).

3. DJI Matrice 350 RTK. User Manual. – Shenzhen: DJI Innovations, 2023. – URL: https://enterprise.dji.com/matrice-350-rtk (date of request: 09/14/2025).

4. DroneSeed. Drone-based Reforestation Services. – Seattle: DroneSeed Inc., 2022. – URL: https://www.droneseed.com (date of request: 09/14/2025).

5. Forester Planter. Robotic Tree Planting System. – Helsinki: Dendra Systems, 2022. – URL: https://www.dendra.io (accessed: 09/14/2025).

6. Penkov V. A. On sustainable development of geodetic support for construction / V. A. Penkov, V. A. Morkovin, T. N. Storodubtseva // Circular economy for the goals of sustainable development of industries and territories: materials of the National scientific and practical

conference, Voronezh, May 14-15, 2024 / ed. T. L. Ishchenko; VSTU. - Voronezh, 2024. - P. 292-298.

7. Tree Rover Project. Autonomous Tree Planting Robot. – Victoria: University of Victoria, 2020. – URL: https://treerover.ca (date of access: 09/14/2025).

DOI: 10.58168/Forestry2025_857-863
УДК 502.3:674

КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Т.Н. Стородубцева, В.А. Морковин, Д.С. Жабин

д. т. н., профессор кафедры Промышленного транспорта, строительства и геодезии,
к. т. н., заведующий кафедрой, доцент, магистрант
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация. На сегодняшний день актуальность темы обусловлена растущими глобальными вызовами, связанными с изменением климата, утратой биоразнообразия и истощением природных ресурсов. Потребление древесины и других лесных продуктов увеличивается ежегодно, в связи с чем возникает потребность в обеспечении устойчивого управления лесами, что позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Значимость данной темы обусловлена также особым вниманием к экологии, в связи с чем, компании деревообрабатывающей отрасли сталкиваются с необходимостью внедрения экологически чистых технологий и практик.

Ключевые слова: отходы, экология, древесина, переработка, ресурсы.

A CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF FOREST PROCESSING INFRASTRUCTURE BASED ON RESOURCE CONSERVATION

T.N. Storodubtseva, V.A. Morkovin, D.S. Zhabin
doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Industrial Transport, Construction and Geodesy, Candidate of Technical Sciences, Head of Department, Associate Professor, Master's student

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract: The topic's relevance today is driven by growing global challenges related to climate change, biodiversity loss, and natural resource depletion. Consumption of wood and other forest products increases annually, creating a need for sustainable forest management to minimize negative environmental impacts. The importance of this topic is also driven by the increased focus on the environment, which requires wood processing companies to implement environmentally friendly technologies and practices.

Keywords: waste, ecology, wood, recycling, resources.

Деревопереработка – это не просто технический процесс, а часть сложной системы взаимодействия человека с природной средой. Она затрагивает целый комплекс вопросов: от сохранения лесных экосистем и снижения выбросов парниковых газов до рационального использования ресурсов и переработки отходов [1, 8].

Устойчивое развитие – это не просто концепция, а реальная необходимость. И если мы говорим об экологии, то именно деревообрабатывающая отрасль становится одним из тех рубежей, где особенно важен переход от слов к действиям.

© Стородубцева Т. Н., Морковин В. А., Жабин Д. С., 2025

Деревопереработка – это совокупность технологических процессов, направленных на обработку древесины с целью получения различных видов продукции: пиломатериалов, строительных конструкций, мебели, бумаги, древесных плит, биотоплива и других материалов. Этот процесс охватывает как первичную обработку древесины, так и её последующую переработку, включая использование отходов производства.

Значение деревопереработки сложно переоценить. Экономическое значение заключается в том, что отрасль обеспечивает сырьём множество секторов промышленности и играет важную роль в формировании валового внутреннего продукта. Особенно важна она для регионов, богатых лесными ресурсами.

Социальное значение проявляется в создании рабочих мест, развитии инфраструктуры и формировании устойчивых сообществ в лесных районах.

Экологическое значение – наиболее противоречивое [2]. С одной стороны, при рациональном подходе деревопереработка может способствовать устойчивому природопользованию. С другой стороны, неэффективное и неконтролируемое использование древесины ведёт к вырубке лесов, утрате биоразнообразия, загрязнению окружающей среды и накоплению отходов.

Особое внимание в последние годы уделяется экологической стороне деревопереработки. Это связано с тем, что традиционные методы производства нередко сопровождаются значительными выбросами загрязняющих веществ в атмосферу и водоёмы, а также образованием трудно утилизируемых отходов [3, 4].

Таким образом, деревопереработка представляет собой важнейший элемент экономики, но при этом требует постоянного совершенствования технологий и внедрения экологически ориентированных подходов. Только в этом случае возможно сбалансировать производственные интересы с задачами охраны окружающей среды.

В современном контексте деревопереработка становится не просто отраслью материального производства, а стратегическим элементом перехода к «зелёной» экономике и замкнутым циклам потребления. Это требует внедрения цифровых технологий для отслеживания происхождения древесины, оптимизации логистических процессов, мониторинга выбросов и повышения прозрачности производственной цепочки. Таким образом, деревопереработка приобретает ключевую роль в реализации принципов устойчивого развития, где на первый план выходят не только экономическая эффективность, но и ответственность перед обществом и природой.

Негативное воздействие деревопереработки на окружающую среду проявляется не только в экологической, но и в экономической плоскости. На первый взгляд, это два разных аспекта, однако на практике они тесно взаимосвязаны [8].

Экологические и экономические последствия включают:

1) Загрязнение воздуха и воды в результате выбросов пыли, химикатов, паров клеевых и лакокрасочных материалов, особенно на этапах сушки и обработки древесины;

2) Образование большого количества отходов (стружки, опилки, обрезки, пыль), которые зачастую не перерабатываются и направляются на свалки;

3) Загрязнение почвы и водных объектов при неправильной утилизации отходов;

4) Утрата биоразнообразия и разрушение экосистем вследствие масштабной вырубки лесов.

Все эти процессы приводят к росту экологической нагрузки на окружающую среду, ухудшению санитарно-гигиенических условий жизни населения и снижению качества природных ресурсов.

Однако экологические проблемы влекут за собой и экономические последствия, которые выражаются в следующем:

1) рост затрат на ликвидацию последствий загрязнения, включая очистку воды, рекультивацию земель, восстановление экосистем;

2) увеличение расходов на здравоохранение из-за роста числа заболеваний, связанных с загрязнением воздуха и воды;

3) снижение эффективности природных экосистем, что может привести к потерям в сельском и лесном хозяйстве;

4) необходимость инвестиций в новые технологии, соответствующие экологическим стандартам, что увеличивает себестоимость продукции;

5) ухудшение репутации предприятий, нарушающих экологические нормы, что может сказаться на снижении их конкурентоспособности на рынке.

Таким образом, несоблюдение экологических требований в сфере деревопереработки влечёт за собой не только деградацию природной среды, но и ощутимые финансовые издержки как для государства, так и для бизнеса [5]. Это подчёркивает необходимость перехода к устойчивым, экологически ориентированным моделям производства.

Помимо прямых финансовых издержек, экологическая нестабильность в сфере деревопереработки способна негативно сказываться на социально-экономической устойчивости целых регионов. В случае ухудшения экологической обстановки и снижения качества окружающей среды наблюдается отток населения из лесопромышленных районов, сокращение занятости и разрушение локальных экономик. Это особенно актуально для малых городов и посёлков, зависимых от работы одного-двух деревообрабатывающих предприятий. Таким образом, пренебрежение экологическими стандартами влечёт не только локальные последствия, но и может способствовать формированию депрессивных территорий с уязвимой социальной структурой.

В долгосрочной перспективе экологическая несостоятельность отрасли также может ограничить экспортный потенциал продукции деревопереработки [6]. На международных рынках растёт спрос на экологически сертифицированные товары, а компании, не соблюдающие экологические стандарты, рискуют столкнуться с барьерами в виде «зелёных тарифов», отказа от закупок и имиджевых потерь. Это особенно актуально в условиях глобального ужесточения требований к происхождению сырья, углеродному следу продукции и условиям её производства. Таким образом, устойчивость деревопереработки становится не только вопросом внутренней политики, но и фактором внешнеэкономической конкурентоспособности.

Проблемы утилизации древесных отходов в городах заключается в особенности городских условий - ограниченности пространства и высокой плотности застройки, из-за чего свалки быстро достигают предельной загрузки, а вывоз отходов требует значительных ресурсов. Кроме того, скопление неутилизированных древесных материалов на строительных площадках, во дворах и на промышленных территориях увеличивает риск возгораний, нарушает санитарные нормы и ухудшает визуальное восприятие городской среды [7, 1]. Такие очаги мусора становятся потенциально опасными как с экологической, так и с социальной точки зрения – способствуют росту недовольства жителей, ухудшают имидж районов и снижают инвестиционную привлекательность территорий.

Одним из сдерживающих факторов в эффективной утилизации древесных отходов является отсутствие единой системы учёта и координации между различными участниками процесса – строительными компаниями, управляющими организациями, предприятиями переработки и муниципальными властями. Во многих городах отсутствуют специализированные площадки для временного хранения и сортировки древесных фракций, что затрудняет их последующую переработку. Кроме того, недостаточная информированность населения и бизнеса о возможностях повторного использования снижает мотивацию к их раздельному сбору. Для преодоления этих барьеров необходимо выстраивание системы взаимодействия всех заинтересованных сторон на уровне городского управления.

Немаловажную роль в продвижении комплексного подхода к решению проблемы экологической деревопереработки играют государственная поддержка и участие бизнеса. Предоставление налоговых льгот, субсидий и грантов может стимулировать предприятия к внедрению переработки и экологичных технологий [1]. С другой стороны, устойчивый

спрос на вторичную продукцию со стороны крупного бизнеса способствует развитию целых отраслей переработки. Кроме того, важно создавать платформы для обмена лучшими практиками и технологическими решениями между регионами и странами, что позволит ускорить экологическую модернизацию деревообрабатывающего сектора.

При этом особое значение имеет развитие системы экологического контроля и стандартизации в сфере деревопереработки. Внедрение чётких требований к уровню выбросов, показателям переработки и качеству вторичных материалов позволит не только повысить экологическую безопасность, но и обеспечить единые правила для всех участников рынка. Международные экологические сертификаты, такие как FSC или PEFC, уже сегодня становятся обязательным условием доступа на многие зарубежные рынки, и их использование в российской практике способствовало бы повышению конкурентоспособности продукции.

В итоге экологизация деревопереработки невозможна без сочетания технологий, образования и экономических стимулов. Необходим системный подход с участием государства, бизнеса и общества [2, 6]. Это позволит превратить отходы в ресурс и снизить нагрузку на окружающую среду.

Одним из наиболее эффективных решений экологических проблем деревопереработки является внедрение полного цикла переработки древесины. Это означает, что на всех этапах производства используются не только основные продукты, но и отходы, которые в традиционных схемах просто утилизируются или отправляются на свалку.

Что включает в себя полный цикл переработки:

1) сбор и сортировка отходов производства – стружки, опилок, обрезков, коры и других побочных материалов;

2) использование отходов для производства вторичной продукции, такой как древесные плиты (ДСП, МДФ), биомасса, топливные гранулы (пеллеты);

3) интеграция технологий замкнутого цикла, при которых отходы одного производства становятся сырьём для другого.

Преимущества такого подхода:

1) снижение объёмов отходов, попадающих на полигоны;

2) рациональное использование ресурсов и снижение потребности в заготовке новой древесины;

3) экономическая выгода – переработка отходов может приносить дополнительный доход;

4) уменьшение выбросов загрязняющих веществ, связанных с сжиганием и захоронением отходов;

5) создание новых рабочих мест в сфере переработки и логистики отходов.

Хорошим примером служит опыт Швеции, где активно используются отходы деревопереработки для производства биомассы и древесных плит. Это не только позволяет снизить нагрузку на окружающую среду, но и способствует развитию «зелёной» экономики.

Кроме того, переработанные материалы могут применяться в других отраслях – строительстве, производстве упаковки, ландшафтном дизайне и даже в энергетике. Таким образом, отходы становятся ресурсом, а не проблемой.

Внедрение полного цикла переработки – это шаг к замкнутой экономике, где ценность материалов сохраняется максимально долго, а воздействие на природу минимизируется. Такой подход становится особенно актуальным в условиях экологического кризиса и необходимости перехода к устойчивому развитию.

Для эффективной реализации полного цикла переработки важную роль играет организация логистики и сотрудничество между предприятиями различных профилей. Не каждое производство способно самостоятельно внедрить замкнутый цикл, но возможно создание кластеров, где отходы одного участника становятся сырьём для другого. При этом

важно учитывать региональные различия: в отдалённых или малых населённых пунктах отсутствие инфраструктуры и инвестиций может затруднять переход к такой модели, что требует поддержки на уровне муниципальной или государственной политики.

Кроме практической пользы, внедрение полного цикла переработки способствует формированию новой экологической культуры – как внутри производств, так и в обществе в целом. Когда древесные отходы воспринимаются не как мусор, а как ценный ресурс, меняется и отношение к потреблению, и готовность поддерживать экологические инициативы. Это делает переработку не просто технологическим процессом, а важным шагом в формировании осознанного и устойчивого подхода к использованию природных ресурсов.

Для минимизации негативного воздействия деревопереработки на окружающую среду необходимо не только перерабатывать отходы, но и внедрять экологически чистые технологии на всех этапах производственного процесса. Это включает в себя как выбор оборудования и источников энергии, так и организацию всей системы лесопользования.

Экологически чистые технологии предполагают:

- использование возобновляемых источников энергии – солнечной, ветровой, биомассы;
- применение безотходных и низкоэмиссионных производственных процессов;
- внедрение автоматизированных систем контроля выбросов;
- использование безопасных химических компонентов в процессе обработки древесины.

Например, в Норвегии активно используются технологии, позволяющие существенно снизить углеродный след предприятий. Производственные мощности работают на «зелёной» энергии, а системы фильтрации позволяют сокращать выбросы в атмосферу.

Не менее важно и устойчивое управление лесами, которое включает:

- планирование вырубки с обязательным восстановлением лесных массивов;
- сохранение биоразнообразия и защита особо ценных природных территорий;
- привлечение местного населения к управлению и мониторингу лесных ресурсов.

Примером может служить Канада, где на государственном уровне реализуются программы устойчивого лесоуправления. Лесозаготовительные компании обязаны проводить лесовосстановительные работы, соблюдать нормы экологической безопасности и участвовать в долгосрочном планировании лесного фонда.

Кроме технологических и организационных мер, большое значение имеет экологическое образование и подготовка кадров. В этом направлении интересен опыт Бразилии, где ведётся активное обучение местных жителей экологически безопасным методам ведения хозяйства, что способствует их участию в защите природы и устойчивом развитии территорий.

Важным направлением также становится развитие систем мониторинга и прозрачности в экологической политике предприятий. Использование цифровых платформ, открытых отчётов об устойчивом развитии и экологической сертификации позволяет не только отслеживать реальные изменения, но и формировать доверие со стороны общества, инвесторов и государственных структур.

Существенное значение имеют также экономические и правовые стимулы для внедрения экологически чистых технологий [5-7]. Предоставление налоговых льгот, компенсаций за внедрение энергоэффективного оборудования, участие в программах государственной поддержки и доступ к «зелёному финансированию» создают реальные условия для экологической модернизации предприятий. Кроме того, ужесточение природоохранного законодательства и введение обязательной экологической отчётности формируют спрос на инновации и повышают ответственность бизнеса за последствия своей деятельности.

Таким образом, внедрение экологически чистых технологий и устойчивых практик

управления лесами – это основа современного подхода к деревопереработке, позволяющая сочетать экономическую эффективность с заботой об окружающей среде.

Использование полного цикла переработки древесины – от сбора и сортировки отходов до их трансформации в новые продукты – позволяет увеличить эффективность производства и уменьшить нагрузку на окружающую среду. Использование экологически чистых технологий и принципов устойчивого лесоуправления способствует не только сохранению природных ресурсов, но и формированию устойчивой модели развития отрасли [5].

В заключение следует подчеркнуть, что для успешного решения экологических проблем деревопереработки необходимо активное взаимодействие между государственными органами, научным сообществом и производственными предприятиями. Только совместные усилия, направленные на внедрение инноваций, совершенствование нормативно-правовой базы и повышение экологической культуры, смогут обеспечить баланс между экономическим развитием и охраной природы, что особенно актуально в условиях современного экологического кризиса.

Список литературы

1. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals / O. Kunickaya, A. Pomiguev, I. Kruchinin [et al.] // Central European Forestry Journal. – 2022. – Vol. 68, No. 1. – P. 51-59. – DOI 10.2478/forj-2021-0017. – EDN UXKCJU.

2. Анисимов, А. П. Основы экологического права: учебник и практикум для среднего профессионального образования / А. П. Анисимов, А. Я. Рыженков, Ю. И. Исакова. – 9-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 432 с.

3. Астафьева, О. Е. Экологические основы природопользования: учебник для среднего профессионального образования / О. Е. Астафьева, А. А. Авраменко, А. В. Питрюк. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 376 с.

4. Боголюбов, С. А. Актуальные проблемы экологического права: монография / С. А. Боголюбов. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 498 с.

5. Боголюбов, С. А. Правовые основы природопользования и охраны окружающей среды: учебник и практикум для вузов / С. А. Боголюбов, Е. А. Позднякова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 479 с.

6. Ерофеев, Б. В. Экологическое право России. Особенная и специальная части : учебник для вузов / Б. В. Ерофеев ; под научной редакцией Л. Б. Братковской. – 26-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 305 с.

7. Ерофеев, Б. В. Экологическое право России. Общая часть: учебник для вузов / Б. В. Ерофеев; под научной редакцией Л. Б. Братковской. – 27-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 230 с.

8. Russian Timber Industry: Current Situation and Modelling of Prospects for Wood Biomass Use / S. O. Medvedev, M. A. Zyryanov, A. P. Mokhirev [et al.] // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. – 2022. – Vol. 17, No. 5. – P. 745-752. – DOI 10.18280/ijdne.170512. – EDN WCKIRV.

References

1. Analysis of modern wood processing techniques in timber terminals / O. Kunickaya, A. Pomiguev, I. Kruchinin [et al.] // Central European Forestry Journal. – 2022. – Vol. 68, No. 1. – P. 51-59. – DOI 10.2478/forj-2021-0017. – EDN UXKCJU.

2. Anisimov, A. P. Fundamentals of Environmental Law: a textbook and practical training for secondary vocational education / A. P. Anisimov, A. Ya. Ryzhenkov, Yu. I. Isakova. - 9th ed., revised and enlarged. - Moscow: Yurait Publishing House, 2024. - 432 p.

3. Astafieva, O. E. Environmental Foundations of Nature Management: a textbook for secondary vocational education / O. E. Astafieva, A. A. Avramenko, A. V. Pitryuk. - 2nd ed., revised and enlarged. - Moscow: Yurait Publishing House, 2025. - 376 p.

4. Bogolyubov, S. A. Actual Problems of Environmental Law: monograph / S. A. Bogolyubov. – Moscow : Yurait Publishing House, 2023. – 498 p.

5. Bogolyubov, S. A. Legal Foundations of Nature Management and Environmental Protection: textbook and practical training for universities / S. A. Bogolyubov, E. A. Pozdnyakova. – 5th edition, revised and expanded. – Moscow : Yurait Publishing House, 2023. – 479 p.

6. Erofeev, B. V. Environmental Law of Russia. Special and Special Parts : textbook for universities / B. V. Erofeev ; edited by L. B. Bratkovskaya. – 26th edition, revised and expanded. – Moscow : Yurait Publishing House, 2023. – 305 p.

7. Erofeev, B. V. Environmental Law of Russia. General part: textbook for universities / B. V. Erofeev; under the scientific editorship of L. B. Bratkovskaya. - 27th edition, revised and enlarged. - Moscow: Yurait Publishing House, 2024. - 230 p.

8. Russian Timber Industry: Current Situation and Modelling of Prospects for Wood Biomass Use / S. O. Medvedev, M. A. Zyryanov, A. P. Mokhirev [et al.] // International Journal of Design and Nature and Ecodynamics. – 2022. – Vol. 17, No. 5. – P. 745-752. – DOI 10.18280/ijdne.170512. – EDN WCKIRV.

DOI: 10.58168/Forestry2025_864-869
УДК 630 233:631 618

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТХОДОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА «ГРАЧЕВ ЛОГ» КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ

Э. И. Трещевская
д.с.-х.н., профессор кафедры «Лесных культур, селекции и лесомелиорации»
Е. Н. Тихонова
к.б.н., заведующий кафедрой «Ландшафтной архитектуры и почвоведения»
И. В. Голядкина
к.с.-х.н., доцент кафедры «Ландшафтной архитектуры и почвоведения»
К. В. Бобрешов
аспирант кафедры «Лесных культур, селекции и лесомелиорации»

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация. В районах по добыче полезных ископаемых одним из элементов техногенного ландшафта являются хвостохранилища. Они представляют собой места по складированию отходов обогатительных фабрик. Статья посвящена изучению свойств отходов с целью их дальнейшей рекультивации. Делается вывод, что без проведения мероприятий по улучшению лесорастительных условий, хвостохранилища являются непригодными для проведения лесной рекультивации.

Ключевые слова: хвостохранилище, отходы, гранулометрический состав, агрохимические и химический свойства.

CHARACTERISTICS OF THE WASTE FROM THE «GRACHEV LOG» TAILINGS OF THE KURSK MAGNETIC ANOMALY

E.I. Treschevskaya
Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forest Crops, Breeding, and Agroforestry
E.N.Tikhonova
Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Landscape architecture and Soil sciences
I.V.Golyadkina
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape architecture and Soil sciences
K.V.Bobreshov
Post-graduate student of the Department of Forest Crops, Breeding, and Agroforestry
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. In ore mining areas, one of the elements of the technogenic landscape is the tailings. They are sites for the storage of waste from mineral processing plants. The article is devoted to studying the properties of wastes with a view to their further reclamation. It is concluded

© Трещевская Э. И., Тихонова Е. Н., Голядкина И. В., Бобрешов К. В., 2025

that without measures to improve forest growing conditions, the tailings are unsuitable for forest crops planting**.**

Keywords: tailings, waste, granulometric composition, agrochemical and chemical properties.

Интенсивность использования природных богатств Курской магнитной аномалии сопровождается нежелательными изменениями в окружающей среде. В результате добычи железистых кварцитов открытым способом происходит нарушение всех компонентов ландшафта. Одним из элементов техногенного ландшафта являются хвостохранилища – места складирования отходов обогатительных фабрик. Их существование сказывается на понижении уровня грунтовых вод, загрязнении почв, водоемов и воздушного бассейна, увеличении заболеваемости населения, снижении урожаев сельскохозяйственных культур и других отрицательных явлениях. Такие последствия вызывают необходимость проведения рекультивационных работ как мероприятия по охране окружающей среды.

Работы по улучшению лесорастительных условий хвостохранилищ и их рекультивации известны в Китае, Бразилии и других странах [3-5]. В России фитомелиорация хвостовых отложений проводилась в Кузбассе, Карачаево-Черкесской республике, на Урале и в Забайкалье [1-2]. Результаты всех исследований показали, что при закреплении хвостохранилищ необходим индивидуальный подход. Работы в этом направлении только начинают развиваться. Основной целью данной работы было определение возможности облесения и закрепления территории хвостохранилища. Для успешной рекультивации необходимо изучение гранулометрического состава и физико-химических свойств отходов хвостохранилищ, в связи с чем тема наших исследований является очень актуальной.

Объектом исследования послужило хвостохранилище, именуемое «Грачев лог», в которое перемещаются продукты отходов (кварц, илистые частицы и др.) после переработки железной руды на фабрике № 2 АО «Комбинат КМАруда». Хвостохранилище сформировано в балке Грачев лог. Оно расположено в Губкинском городском округе Белгородской области с координатами 51.301031, 37.579762. В нижней части балки, расположенной между г. Губкин и п. Мирный в направлении с севера на юг, сооружена плотина. Отходы поступали гидравлическим путем, поэтому в нижней части плотины осели более крупные частицы кварца, а в верней – более мелкие (ил). Хвостохранилище разделено дамбами на четыре части.

Площадь хвостохранилища составляет 1,7 км^2. В нижней части (самой значительной по площади) в середине балки находится водоем. Уровень воды колеблется в зависимости от погодных условий. Эмульсия воды и отходов выпускается из труб, находящихся на восточном берегу балки. На сухих возвышенных местах вдоль берегов балки шириной от 1 до 60 м, в ветреные дни поднимается большое количество пыли, которая переносится на большие расстояния, откладывается на прилегающих сельскохозяйственных угодьях, а также ухудшают санитарное состояние города. Дефляция является основным неблагоприятным фактором, на предотвращение которого должны быть направлены рекультивационные мероприятия.

Для изучения свойств отходов хвостохранилища «Грачев лог» отбирались образцы в верхней, средней и нижней частях на следующих глубинах: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-70, и 70-100 см в трехкратной повторности. Анализ образцов проводился по общепринятым агрохимическим методикам. В таблице 1 приводится характеристика гранулометрического состава отходов хвостохранилища «Грачев лог».

Таблица 1. Характеристика гранулометрического состава отходов хвостохранилища «Грачев лог»

Часть хвостохранилища	Глубина взятия образца	Содержание физической глины (меньше 0,01 мм), %	Гранулометрический состав
Верхняя	0-5	34,08	суглинок средний
	5-10	21,52	суглинок легкий
	10-20	7,92	песок связный
	20-30	15,20	супесь
	30-40	20,64	суглинок легкий
	40-50	6,73	песок связный
	50-70	6,80	песок связный
	70-100	25,86	суглинок легкий
Средняя	0-5	3,12	песок рыхлый
	5-10	2,40	песок рыхлый
	10-20	4,56	песок рыхлый
	20-30	11,92	супесь
	30-40	12,44	супесь
	40-50	19,09	супесь
	50-70	5,16	песок связный
	70-100	7,12	песок связный
Нижняя	0-5	4,96	песок рыхлый
	5-10	1,84	песок рыхлый
	10-20	2,72	песок рыхлый
	20-30	1,92	песок рыхлый
	30-40	2,40	песок рыхлый
	40-50	1,44	песок рыхлый
	50-70	4,64	песок рыхлый
	70-100	2,72	песок рыхлый

Из данных таблицы видно, что гранулометрический состав неодинаков в различных частях хвостохранилища. В целом для метрового слоя он в верхней части представлен супесью, в средней – песком связным, в нижней – песком рыхлым. Это свидетельствует о том, что при перемещении отходов гидравлическим транспортом в нижней части хвостохранилища откладываются более крупные фракции, а в верхней – мелкие.

Самая значительная пестрота гранулометрического состава отходов наблюдается в верхней части хвостохранилища, где в метровом слое он колеблется от песка связного до суглинка среднего. В средней части слой 0-20 см представлен песком рыхлым, 20-50 см – супесью и слой 50-100 см – песком связным. В нижней части хвостохранилища отходы откладываются равномерно и по грансоставу представлены песком рыхлым.

Данные по агрохимическому анализу отходов хвостохранилища показывают, что они являются очень бедными (таблица 2).

Таблица 2. Характеристика агрохимических свойств отходов хвостохранилища «Грачев лог»

Глубина взятия образца	pH солевой	Поглощенные, мг-экв /100 г		Подвижные формы, мг/100 г (по Мачигину)		Гумус, % (по Тюрину)	Гигроско-пическая влага
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	P_2O_5	K_2O		
Верхняя часть хвостохранилища							
0-5	8,5	7,20	1,60	2,60	1,80	0,52	0,4
5-10	8,5	9,60	1,60	2,60	1,00	0,65	0,2
10-20	8,5	5,60	0,80	2,00	1,00	0,44	0,2
20-30	9,0	7,20	0,40	2,00	0,50	0,52	0,3
30-40	9,0	9,60	0,40	2,00	0,40	0,71	0,3
40-50	9,0	4,00	0,80	1,50	0,00	0,42	0,2
50-70	9,0	4,00	0,80	1,50	0,10	0,46	0,2
70-100	9,0	4,00	0,80	1,50	0,00	1,20	0,4
среднее	8,8	6,40	0,90	1,96	0,60	0,61	0,3
Средняя часть хвостохранилища							
0-5	8,0	5,60	1,60	5,00	1,00	0,44	0,6
5-10	8,5	9,60	1,60	2,00	1,00	0,61	0,5
10-20	8,0	12,00	1,60	3,00	1,20	0,62	0,5
20-30	8,0	11,20	1,60	3,00	1,00	0,88	2,3
30-40	8,5	10,40	1,60	2,50	1,00	0,83	1,1
40-50	8,5	10,40	1,60	2,00	0,50	1,02	1,6
50-70	9,0	8,00	1,60	4,00	0,50	1,61	3,7
70-100	9,0	8,00	0,40	4,00	0,80	3,58	1,0
среднее	8,4	9,40	1,45	3,19	0,87	1,20	1,41
Нижняя часть хвостохранилища							
0-5	9,0	4,80	0,60	1,00	0,50	0,22	0,1
5-10	9,0	3,20	0,60	0,60	0,40	0,25	0,1
10-20	9,0	2,80	0,40	1,50	0,20	0,21	0,1
20-30	9,0	2,80	0,40	0,60	0,20	0,26	0,1
30-40	8,5	2,80	0,40	0,60	0,00	0,12	0,1
40-50	8,5	4,80	1,60	1,50	0,00	0,18	0,1
50-70	8,5	3,20	0,80	1,50	0,00	0,08	0,1
70-100	9,0	3,60	0,40	2,00	0,00	0,44	0,1
среднее	8,8	3,50	0,65	1,16	0,16	0,22	0,1

Примечание: гидролитическая кислотность не определялась вследствие вскипания субстрата.

Содержание гумуса на разной глубине в разных частях хвостохранилища колеблется от 0,08 до 3,58 %. В разных частях оно различное. Так, например, в средней части гумуса содержится в 5 раз больше, чем в нижней части и в 2 раза больше, чем в верхней.

Важную роль в жизни растений играет содержание питательных элементов в усвояемой форме. Количество фосфора также различается по частям хвостохранилища: средняя обеспеченность фосфором характерна для отходов в средней части, низкая – в верхней и очень низкая – в нижней. По количеству калия все части хвостохранилища имеют низкую обеспеченность. pH (солевой) в пределах хвостохранилища колеблется от 8,0 до 9,0, т.е. отходы имеют щелочную или сильнощелочную реакцию среды.

Обобщая данные агрохимического анализа, можно отметить, что отходы в средней части хвостохранилища лучше обеспечены элементами питания по сравнению с верхней и нижней частями.

В таблице 3 приводятся результаты химического анализа водной вытяжки.

Таблица 3. Характеристика химических свойств отходов хвостохранилища «Грачев лог»

Глубина взятия образца	Плотный остаток, %	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
		мг-экв /100 г					
Верхняя часть хвостохранилища							
0-5	0,171	0,32	0,34	3,30	1,12	0,52	2,32
5-10	0,160	0,30	0,30	2,20	0,58	0,24	1,96
10-20	0,068	0,26	0,34	1,60	0,38	0,14	1,68
20-30	0,096	0,26	0,30	2,70	0,70	0,34	1,22
30-40	0,123	0,32	0,32	3,00	0,90	0,62	2,12
40-50	0,124	0,22	0,28	1,00	0,38	0,18	1,74
среднее	0,124	0,28	0,31	2,30	0,68	0,34	1,84
Средняя часть хвостохранилища							
0-5	0,100	0,32	0,34	3,32	1,30	0,16	2,52
5-10	0,286	0,34	0,30	4,57	3,58	0,22	1,41
10-20	0,242	0,36	0,30	6,55	3,08	0,22	3,91
20-30	0,134	0,34	0,28	3,40	1,64	0,20	2,18
30-40	0,102	0,34	0,26	2,50	1,10	0,20	1,80
40-50	0,144	0,38	0,30	2,30	1,18	0,16	1,64
50-70	0,136	0,36	0,36	2,60	1,12	0,16	2,04
70-100	0,180	0,38	0,44	3,20	1,70	0,12	2,20
среднее	0,165	0,35	0,32	3,55	1,84	0,18	2,21
Нижняя часть хвостохранилища							
0-5	0,086	0,30	0,22	0,98	0,20	0,10	1,20
5-10	0,085	0,22	0,18	1,32	0,18	0,12	1,42
10-20	0,060	0,26	0,26	0,70	0,20	0,08	0,97
20-30	0,058	0,22	0,22	0,62	0,16	0,06	0,84
30-40	0,070	0,29	0,24	0,53	0,14	0,06	0,75
40-50	0,070	0,22	0,26	0,63	0,14	0,06	0,91
50-70	0,069	0,26	0,28	0,88	0,18	0,06	1,18
70-100	0,043	0,23	0,26	0,70	0,18	0,04	1,02
среднее	0,068	0,25	0,24	0,79	0,17	0,07	1,04

Из таблицы 3 видно, что максимальным количеством солей (карбонаты, сульфаты, хлориды и др.) характеризуются отходы в средней части хвостохранилща, минимальным – в нижней части. Резкого различия содержания солей по слоям в пределах метровой толщи не наблюдается. Однако содержание солей показывает, что они не могут отрицательно повлиять на рост древесных и кустарниковых пород. Из всего выше указанного следует:

1. Наличие в верхних слоях значительного количества фракций размером менее 0,01 мм (в верхней и средней частях хвостохранилища), а также несвязность фракций (в нижней части) способствует развитию дефляции.

2. Отходы имеют щелочную или сильнощелочную реакцию среды и очень низкое содержание питательных элементов, которое несколько выше в средней части хвостохранилища.

3. Содержание опасных солей в отходах не является критичным. Однако в целом лесорастительные условия хвостохранилищ являются неблагоприятными для выращивания древесных и кустарниковых пород.

В связи с эти рекомендуем осуществлять биологическую рекультивацию (в частности – лесную) после применения мероприятий по улучшению лесорастительных условий хвостохранилищ.

Список литературы

1. Водолеев А. С., Андреева О.С., Домнин К.И. Микроклиматические условия для произрастания растений на техноземах хвостохранилища Абагурской обогатительной фабрики, г. Новокузнецк. Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие: сборник научных трудов всероссийской научно практической конференции, Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ. 2024. С. 195-200. DOI: 10.31251/conf-2-2024

2. Храпай Е., Кузина А., Колесников С., Минникова Т., Шерстнев А., Казеев К. Опыт оценки эффективности рекультивации хвостохранилища Урупского горно-обогатительного комбината по выполнению экосистемных функций сформированным почвоподобным телом. Экология и промышленность России. 2024. 28(8). С. 67-71. DOI:10.18412/1816-0395-2024-8-67-71

3. Albuquerque R., Abreu C., Werle M., Mortatti B., Marteleto T., Costa E., Lange L., Machado D., Santos Pablo (2025). Advancing Sustainable Tailing Management: A Comprehensive Approach to the Geochemical Characterization of Iron Ore Tailing in Dry Stacks. Conference: Internation Mine Water Association-2025. P.34-39

4. GISTM (2020) Global Industry Standard on Tailings Management. Global Tailings Review. 40 p.

5. Guo L, Funari V and Li M (2023) Editorial: Advances in sustainable mine tailings management. Front. Earth Sci. 11:1269955. DOI: 10.3389/feart.2023.1269955

References

1. Vodoleev A. S., Andreeva O.S., Domnin K.I. Mikroklimaticheskie usloviya dlya proizrastaniya rastenij na tekhnozemah hvostohranilishcha Abagurskoj obogatitel'noj fabriki, g. Novokuzneck (in Russian). Rekul'tivaciya narushennyh zemel': tekhnologii, effektivnost' i bioraznoobrazie: sbornik nauchnyh trudov vserossijskoj nauchno prakticheskoj konferencii, Novokuzneck: Izdatel'skij centr SibGIU. 2024. P. 195-200. DOI: 10.31251/conf-2-2024

2. Hrapaj E., Kuzina A., Kolesnikov S., Minnikova T., Sherstnev A., Kazeev K. Opyt ocenki effektivnosti rekul'tivacii hvostohranilishcha Urupskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata po vypolneniyu ekosistemnyh funkcij sformirovannym pochvopodobnym telom (in Russian). Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2024. 28(8). P. 67-71. DOI:10.18412/1816-0395-2024-8-67-71

3. Albuquerque R., Abreu C., Werle M., Mortatti B., Marteleto T., Costa E., Lange L., Machado D., Santos Pablo (2025). Advancing Sustainable Tailing Management: A Comprehensive Approach to the Geochemical Characterization of Iron Ore Tailing in Dry Stacks. Conference: Internation Mine Water Association-2025. P.34-39

4. GISTM (2020) Global Industry Standard on Tailings Management. Global Tailings Review. 40 p.

5. Guo L, Funari V and Li M (2023) Editorial: Advances in sustainable mine tailings management. Front. Earth Sci. 11:1269955. DOI: 10.3389/feart.2023.1269955

DOI: 10.58168/Forestry2025_870-876
УДК 332.3:528.44

ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) В ПРОЦЕСС ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ

П.Г. Федюнин[1], Н.В. Яковенко[1], Д.С. Марков[2]

[1]*Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия*
[2]*Ивановский государственный университет, г. Иваново, Россия*

Аннотация. В статье исследуется трансформация процесса оценки земельных участков под влиянием интеграции геоинформационных систем и современных информационных технологий. Представлена концепция создания единой цифровой аналитической среды, где ГИС выступают интеграционным ядром для объединения пространственных и атрибутивных данных. Особое внимание уделяется методологии массовой оценки с применением машинного обучения и геостатистики, обеспечивающей повышение точности определения удельной стоимости участков. Рассматриваются вопросы обеспечения воспроизводимости вычислений через версионирование данных и контейнеризацию, а также стандартизации обмена информацией посредством открытых веб-сервисов. Проанализированы подходы к учету экологических факторов и природных рисков, включая публикацию машиночитаемых регистров ограничений и сервитутов. Определены ключевые организационные аспекты внедрения, включая стратегию управления данными и подготовку кадров. Научная новизна исследования заключается в разработке концептуальной модели перехода от статической к динамической системе оценки земель, основанной на комплексном использовании пространственных данных и современных информационных технологий.

Ключевые слова: оценка земель, геоинформационные системы (ГИС), информационные технологии, массовая оценка, машинное обучение, пространственный анализ, цифровизация, земельные ресурсы, устойчивое развитие.

IMPLEMENTATION OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES AND GEOINFORMATION SYSTEMS (GIS) IN THE LAND ASSESSMENT PROCESS

P.G. Fedyunin[1], N.V. Yakovenko[1], D.S. Markov[2]

[1]*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia*
[2]*Ivanovo State University, Ivanovo, Russia*

Abstract. The article examines the transformation of the land valuation process under the influence of integrating geographic information systems and modern information technologies. The concept of creating a unified digital analytical environment is presented, where GIS serves as an integration core for combining spatial and attribute data. Particular attention is paid to the methodology of mass valuation using machine learning and geostatistics, which improves the accuracy of determining the specific value of land plots.

The issues of ensuring computational reproducibility through data versioning and containerization, as well as standardizing information exchange through open web services, are considered. Approaches to accounting for environmental factors and natural risks, including the publication of machine-readable registers of restrictions and easements, are analyzed. Key

© Федюнин П. Г., Яковенко Н. В., Марков Д. С., 2025

organizational aspects of implementation are identified, including data management strategy and personnel training. The scientific novelty of the research lies in the development of a conceptual model for the transition from a static to a dynamic land valuation system based on the integrated use of spatial data and modern information technologies

Keywords: land valuation, geographic information systems (GIS), information technology, mass appraisal, machine learning, spatial analysis, digitalization, land resources, sustainable development.

Введение. Актуальность проблемы. В современных условиях перехода к цифровой экономике и роста антропогенной нагрузки на природные ресурсы объективная, оперативная и комплексная оценка земель приобретает ключевое значение для устойчивого развития и эффективного территориального планирования. Традиционные методы оценки, основанные на статичных данных и трудоемких полевых исследованиях, зачастую не способны в полной мере отражать динамические изменения состояния земельных ресурсов, что приводит к принятию неоптимальных управленческих решений. В этой связи внедрение современных информационных технологий, и в первую очередь геоинформационных систем (ГИС), в практику оценочной деятельности является не просто тенденцией, а насущной необходимостью. ГИС-технологии предоставляют уникальный инструментарий для сбора, пространственного анализа, моделирования и визуализации разнородных данных о земельных ресурсах, позволяя перейти от фрагментарной оценки к целостному системному подходу.

Степень изученности проблемы. Вопросы, связанные с оценкой земель и применением ГИС-технологий, нашли отражение в трудах ряда отечественных [1-5] и зарубежных ученых [6-8]. В то же время, несмотря на значительный объем накопленных знаний, остается недостаточно изученным комплексный подход к интеграции современных IT-решений, включая облачные сервисы, Big Data и машинное обучение, с классическим ГИС-моделированием именно для задач оценки земель различного целевого назначения. Существует потребность в систематизации методологии такого внедрения и оценке его экономической эффективности.

Современные информационные технологии позволяют объединить пространственные и атрибутивные данные, автоматизировать сбор материалов, ускорять обработку и повысить сопоставимость результатов оценки. Геоинформационные системы интегрируют такие источники данных, как топографические карты, спутниковые изображения, лазерное сканирование, данные дронов, кадастровые регистры, а также экономические и экологические показатели. Введение ГИС в процесс оценки земельных участков на федеральном и региональном уровнях обеспечивает единую цифровую среду для анализа, моделирования и визуализации сценариев использования земельных ресурсов. Такой решение может существенно повысить качество управленческих решений.

Важно сказать, что ГИС выступают главным интеграционным ядром, позволяя объединять разные источники информации о землях, их правовом статусе в регионе, качественных характеристиках и рыночной динамике. Проанализировав профильную литературу, можно заявить о том, что именно пространственная привязка и возможность многоуровневого анализа делают геоинформационные системы незаменимым инструментом для кадастровой и рыночной оценки, а также для сценарного моделирования использования земельных участков [9], [10].

Существует множество целей внедрения современных информационных технологий и геоинформационных систем (ГИС) в процесс оценки земель. Можно выделить наиболее важные из них (рис.1).

Рисунок 1. Цели внедрения современных ИТ и ГИС в процесс оценки земель

Важнейшей составляющей современного подхода выступают модели массовой оценки, использующие машинное обучение и геостатистику. Пространственно-эксплицитные алгоритмы, которые способны учитывать эффекты соседства и доступности, обеспечивают более точные предсказания удельной стоимости участков по сравнению с традиционными регрессионными подходами, особенно в городских условиях.

Кроме этого, сегодня активно развивается подход воспроизводимых вычислений: хранение кода и параметров оценки в контролируемых средах, применение версионирования данных и контейнеризации обеспечивают проверяемость результатов и снижают риски методических расхождений при повторной оценке.

Цифровые кадастровые платформы и распределенные реестры усиливают надежность учета прав и ограничений, а также создают единую точку доступа к актуальным пространственным данным. Системы управления геоданными на основе INSPIRE/ISO и открытых стандартов OGC обеспечивают взаимодействие между ведомствами и рынком, что облегчает процесс оценки от сбора исходных данных до публикации итогов. Важную роль играют веб-сервисы WMS/WFS и REST API, предоставляющие стандартизированные каналы для обновления слоев землепользования, инженерной инфраструктуры и экологических регламентов. На практике это приводит к сокращению временных лагов между фактическими изменениями на местности и их отражением в оценочных моделях, а также делает возможным потоковую синхронизацию с внешними источниками сделок и ценовых индикаторов.

Существенным направлением становится учет экологических факторов и природных рисков при определении стоимости земельных участков [11]. Включение в модели оценивания карт опасности затопления, оползней, карстовых явлений, а также зон санитарной охраны и охраняемых природных территорий позволяет более точно отражать ограничения и потенциальные издержки землепользователей.

Особое значение имеют официальные регистры ограничений и сервитутов, публикация которых в машиночитаемом виде дает оценщикам возможность автоматизировать проверку применимости участков для тех или иных видов использования.

Важную роль играют интерфейсы визуальной аналитики, которые связывают сложные модели с потребностями практиков. Панели мониторинга, интерактивные карты и

возможности сценарного моделирования позволяют экспертам быстро тестировать влияние изменений зонирования, инфраструктурных проектов или природных ограничений на показатели стоимости земель. Применение принципов UX для картографических интерфейсов повышает качество коммуникации результатов с общественностью и инвесторами, а стандартизованные отчеты с интерактивными приложениями способствуют воспроизводимости.

Организационные аспекты внедрения информационных технологий не менее значимы, чем технические. Успех зависит от стратегии управления данными, включающей каталогизацию метаданных, роли и ответственность за слои, регламенты обновления и процедуры обеспечения качества. Критичной является подготовка кадров. Повышение квалификации оценщиков и ГИС-специалистов, а также междисциплинарные команды помогают наладить процессы оценки земель и получить желаемый результат. Экономическая эффективность обеспечивается через поэтапное внедрение, пилотные проекты, расчет совокупной стоимости владения и анализ возврата инвестиций от автоматизации, включая снижение трудозатрат на полевые работы и сокращение ошибок в документации. В условиях быстро меняющихся источников данных и технологий устойчивость процессов достигается за счет модульной архитектуры, использования открытого ПО и облачных решений с возможностью масштабирования.

Правовые и методические рамки накладывают требования на воспроизводимость и верифицируемость оценочных моделей. Надлежащая практика подразумевает хранение версий входных данных и моделей, аудит изменений и независимую экспертизу критически важных обновлений, что соответствует международным рекомендациям по управлению качеством в публичных реестрах и статистике. В результате цифровая экосистема оценки земель становится более предсказуемой и доверенной, а переход к регулярно обновляемой массовой оценке с опорой на ГИС открывает возможности для более справедливого налогообложения, рационального планирования и устойчивого использования земельных ресурсов.

Сводная перспектива показывает, что интеграция ГИС и современных информационных технологий преобразует оценку земель из разрозненного набора процедур в непрерывный процесс, в котором каждая стадия от сбора информации до коммуникации результатов опирается на стандарты, автоматизацию и прозрачные методики. Внедрение современных информационных технологий и ГИС в процесс оценки земель создает прочную основу для более точной, прозрачной и эффективной работы с земельными ресурсами.

Проведенное теоретическое исследование позволило разработать концептуальные основы внедрения современных информационных технологий и геоинформационных систем в процесс оценки земель. В результате была предложена целостная архитектура, интегрирующая технологический инструментарий ГИС с методологией оценочной деятельности (рис.2).

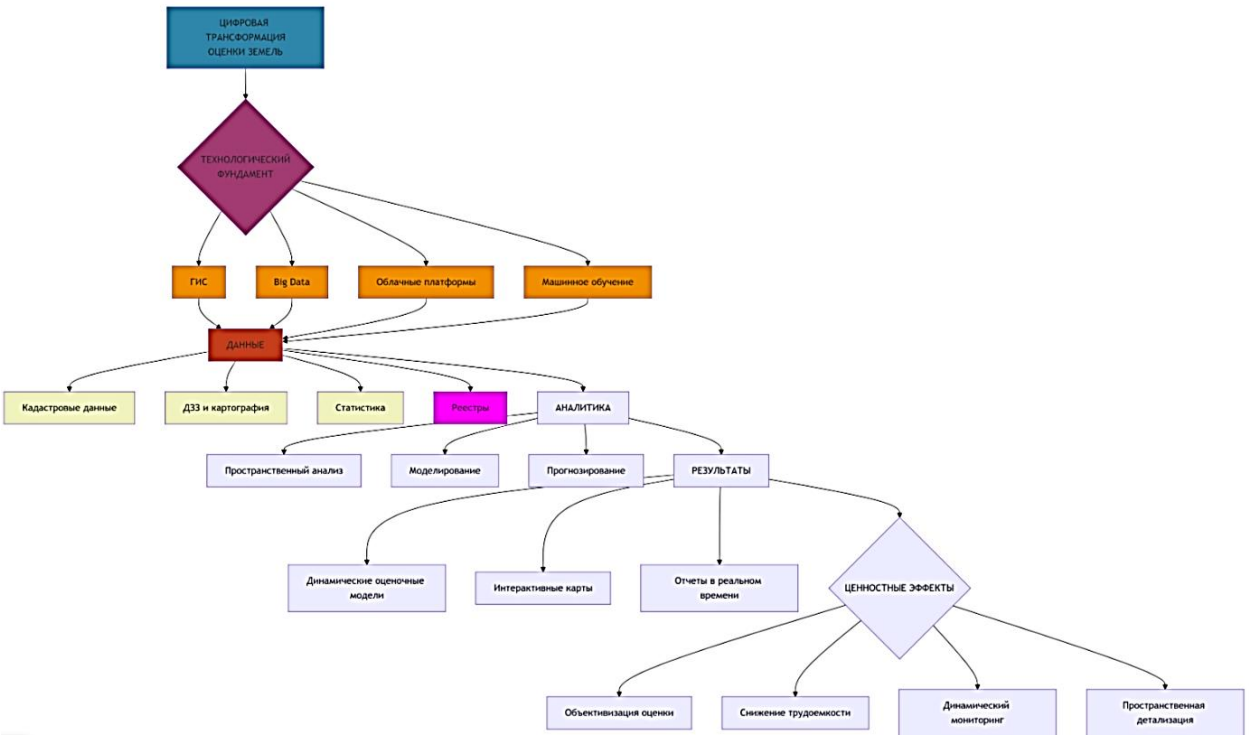


Рисунок 2. Концептуальная модель интеграции ГИС-технологий в процесс оценки земель

1. Систематизация технологического инструментария. Выявлен и классифицирован комплекс современных информационных технологий, применяемых в процессе оценки земель. Установлено, что ядро данного комплекса составляют геоинформационные системы (ГИС), которые интегрируют в себе возможности:
   - Пространственного анализа (буферный анализ, интерполяция, наложение слоев);
   - Работы с большими данными (Big Data);
   - Визуализации и картографического представления результатов оценки.
2. Разработка концептуальной модели. Предложена многоуровневая архитектура внедрения ГИС-технологий в процесс оценки земель, включающая:
   - Данный уровень: интеграция пространственных данных (векторные и растровые карты, данные дистанционного зондирования, кадастровая информация, статистические данные).
   - Аналитический уровень: реализация алгоритмов оценки на основе ГИС-моделирования (оценка местоположения, анализ факторов стоимости, зонирование территории).
   - Результирующий уровень: формирование оценочных карт, отчетов и интерактивных веб-карт для принятия управленческих решений.
3. Теоретическое обоснование повышения точности оценки. Доказано, что интеграция ГИС позволяет перейти от статической к динамической модели оценки земель. Ключевыми теоретическими преимуществами являются:
   - Возможность учета большего количества ценообразующих факторов, имеющих пространственную привязку (экологическая обстановка, транспортная доступность, инфраструктура).
   - Минимизация субъективности за счет применения формализованных алгоритмов пространственного анализа.
   - Возможность проведения сценарного моделирования и прогнозирования изменения стоимости земель в зависимости от изменения внешних условий.

4. Выявление синергетического эффекта. Теоретически обосновано, что наибольшая эффективность достигается при комплексном внедрении ГИС с сопутствующими технологиями:

- Технологии Интернета Вещей (IoT) для сбора актуальных данных о состоянии земель.
- Искусственный интеллект и машинное обучение для автоматического выявления скрытых зависимостей и паттернов на основе пространственных данных.
- Облачные вычисления для обеспечения масштабируемости и доступности оценочных сервисов.

Таким образом, научная новизна исследования заключается в теоретическом обосновании перехода от статической к динамической модели оценки земель, основанной на комплексном использовании пространственных данных и современных информационных технологий. Разработанная концепция создает методологический базис для повышения точности, объективности и прогнозной эффективности оценочной деятельности в условиях цифровой трансформации экономики.

Теоретическая значимость результатов состоит в формировании системного подхода к модернизации методологии земельной оценки, что способствует совершенствованию механизмов управления земельными ресурсами и пространственного развития территорий.

Список литературы

1. Денисова, Е. В. Оценка эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения с применением ГИС-технологий / Е. В. Денисова // Исследование Земли из космоса. – 2021. – № 5. – С. 15-24. – DOI 10.31857/S0205961421050031.
2. Белоусов, А. О. Разработка интегральной оценки рационального использования земель сельскохозяйственного назначения с применением ГИС-технологий / А. О. Белоусов. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2024. – 162 с. – ISBN 978-5-85983-417-4.
3. Розова, И. В. Оценка структуры земель Куликова поля с использованием ГИС-технологий / И. В. Розова, Е. М. Волкова // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2020. – № 3. – С. 27-39.
4. Бородина, К. Ю. Использование ГИС-технологий для агроэкологической оценки земель / К. Ю. Бородина // Интернаука. – 2022. – № 45-4(268). – С. 5-6.
5. Пестриков, В. С. Применение технологий ГИС при эколого-хозяйственной оценке земель / В. С. Пестриков, А. В. Пономарев // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2010. – № 11(71). – С. 36-46.
6. Gao, J., Alasgah, A.A., Ahmad, I. et al. Integration of fuzzy logic and geographic weighted regression modeling for enhanced groundwater potential mapping using remote sensing and GIS. Environ Sci Eur 37, 135 (2025). URL: https://doi.org/10.1186/s12302-025-01182-x.
7. Navalgund, R. R., Kumar, S., & Nandy, S. (Eds.). (2019). Remote sensing of Northwest Himalayan ecosystems. Springer.
8. Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. Geographic Information Systems and Science. 4th ed. Wiley, 2015.
9. Tomlinson R. Thinking about GIS. 5th ed. Esri Press, 2013.
10. Яковенко, Н. В. Теоретико-методологические подходы к исследованию депрессивных регионов России / Н. В. Яковенко, Ю. В. Поросенков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 10-21.

References

1. Denisova, E. V. (2021). Otsenka effektivnosti ispol'zovaniia zemel' sel'skokhoziaistvennogo naznacheniia s primeneniem GIS-tekhnologii [Efficiency assessment

of agricultural land use using GIS technologies]. Issledovanie Zemli iz kosmosa, (5), 15-24. https://doi.org/10.31857/S0205961421050031

2. Belousov, A. O. (2024). Razrabotka integral'noi otsenki ratsional'nogo ispol'zovaniia zemel' sel'skokhoziaistvennogo naznacheniia s primeneniem GIS-tekhnologii [Development of an integral assessment of the rational use of agricultural lands using GIS technologies]. Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.

3. Rozova, I. V., & Volkova, E. M. (2020). Otsenka struktury zemel' Kulikova polia s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii [Assessment of the land structure of Kulikovo Field using GIS technologies]. Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki, (3), 27-39.

4. Borodina, K. Iu. (2022). Ispol'zovanie GIS-tekhnologii dliia agroekologicheskoi otsenki zemel' [The use of GIS technologies for agroecological land assessment]. Internauka, 45-4(268), 5-6.

5. Pestrikov, V. S., & Ponomarev, A. V. (2010). Primenenie tekhnologii GIS pri ekologo-khoziaistvennoi otsenke zemel' [The application of GIS technologies in ecological and economic land assessment]. Zemleustroistvo, kadastr i monitoring zemel', 11(71), 36-46.

6. Gao, J., Alasgah, A. A., Ahmad, I., et al. (2025). Integration of fuzzy logic and geographic weighted regression modeling for enhanced groundwater potential mapping using remote sensing and GIS. Environmental Science Europe, 37(135). URL: https://doi.org/10.1186/s12302-025-01182-x.

7. Navalgund, R. R., Kumar, S., & Nandy, S. (Eds.). (2019). Remote sensing of Northwest Himalayan ecosystems. Springer.

8. Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (2015). Geographic information systems and science (4th ed.). Wiley.

9. Tomlinson, R. (2013). Thinking about GIS (5th ed.). Esri Press.

10. Yakovenko, N. V., & Porosenkov, Iu. V. (2013). Teoretiko-metodologicheskie podkhody k issledovaniiu depressivnykh regionov Rossii [Theoretical and methodological approaches to the study of depressed regions of Russia]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia: Geografiia. Geoekologiia, (2), 10-21.

DOI: 10.58168/Forestry2025_877-882
УДК 551.582

ЦИФРОВОЙ ЛЕС: ОТ ДАННЫХ К РЕШЕНИЯМ. КАК БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ И IOT СОЗДАЮТ НОВУЮ ПАРАДИГМУ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМ СЕКТОРОМ

С.В. Фролов, В.С. Фролова

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Аннотация.

В статье рассматривается трансформация парадигмы управления лесным хозяйством под влиянием цифровых технологий. Анализируются ограничения традиционных методов мониторинга, основанных на выборочных наземных обследованиях и реактивном реагировании, которые не позволяют эффективно противостоять современным вызовам: катастрофическим пожарам, незаконным рубкам и последствиям изменения климата.

Обосновывается концепция «Цифрового леса» как комплексной экосистемы, интегрирующей микроэлектронные сенсорные системы, сети Интернета вещей (IoT) и платформы анализа больших данных. Подробно описывается архитектура такой системы, включая наземные и дистанционные сенсоры, технологии передачи данных в условиях отсутствия связи и методы машинного обучения для автоматического анализа спутниковых снимков и предиктивного моделирования.

Приводятся конкретные кейсы применения технологий для решения критически важных задач: системы раннего предупреждения и прогнозирования пожаров, автоматическое обнаружение незаконных рубок, мониторинг лесовосстановления. Особое внимание уделяется анализу экономической эффективности и правовых аспектов внедрения масштабного мониторинга.

Формулируются рекомендации по преодолению ключевых барьеров внедрения: технологических, кадровых и нормативных. Делается вывод о том, что цифровая трансформация является необходимым условием перехода к проактивной, предиктивной и устойчивой модели управления лесными ресурсами.

Ключевые слова: большое данные, Интернет вещей (IoT), микроэлектронные системы, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), цифровой двойник, устойчивое лесопользование, предиктивная аналитика, машинное обучение, лесные пожары, незаконные рубки.

DIGITAL FOREST: FROM DATA TO DECISIONS. HOW BIG DATA AND IOT ARE CREATING A NEW PARADIGM FOR FOREST SECTOR MANAGEMENT

S.V. Frolov, V.S. Frolova

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract. The article examines the transformation of forest management paradigms under the influence of digital technologies. It analyzes the limitations of traditional monitoring methods

© Фролов С. В., Фролова В. С., 2025

based on selective field surveys and reactive responses, which are ineffective in addressing modern challenges such as catastrophic wildfires, illegal logging, and the impacts of climate change.

The concept of a "Digital Forest" is substantiated as a comprehensive ecosystem integrating microelectronic sensor systems, Internet of Things (IoT) networks, and big data analytics platforms. The architecture of such a system is described in detail, including terrestrial and remote sensors, data transmission technologies in areas with limited connectivity, and machine learning methods for automated analysis of satellite imagery and predictive modeling.

Specific use cases of these technologies are presented for critical tasks: early warning and fire forecasting systems, automated detection of illegal logging, and reforestation monitoring. Particular attention is paid to the analysis of economic efficiency and legal aspects of large-scale monitoring implementation.

Recommendations are formulated to overcome key implementation barriers: technological, personnel, and regulatory. The conclusion is drawn that digital transformation is a necessary condition for transitioning to a proactive, predictive, and sustainable model of forest resource management.

Keywords: big data, Internet of Things (IoT), microelectronic systems, remote sensing, digital twin, sustainable forest management, predictive analytics, machine learning, forest fires, illegal logging.

Лесной сектор Российской Федерации, являясь стратегическим национальным достоянием, сталкивается с беспрецедентными вызовами. Изменение климата ведет к учащению экстремальных погодных условий, росту пожарной опасности и масштабным вспышкам болезней леса. Экономические факторы стимулируют браконьерство и незаконные рубки, наносящие колоссальный экологический и экономический ущерб. При этом традиционная система управления, основанная на выборочных наземных обследованиях и анализе устаревших данных, демонстрирует свою неэффективность. Реактивная парадигма, при которой действия предпринимаются после наступления негативного события, более несостоятельна.

Разрешение этого кризиса лежит в плоскости цифровой трансформации отрасли. Стремительное развитие микроэлектроники, снижение стоимости сенсоров, распространение сетей связи и мощные алгоритмы анализа данных создали уникальную возможность для построения принципиально новой системы управления — «Цифрового леса». Данная концепция предполагает создание целостной цифровой экосистемы, где непрерывный поток информации от миллионов датчиков трансформируется в автоматизированные и обоснованные управленческие решения.

Цель данной статьи — комплексно проанализировать архитектуру «Цифрового леса», выделив ключевые технологические компоненты (микроэлектроника, IoT, большие данные), продемонстрировать их практическое применение на конкретных кейсах и сформулировать дорожная карта для его внедрения в условиях современных российских реалий.

1. Технологический фундамент «Цифрового леса»

Архитектура «Цифрового леса» базируется на трех взаимосвязанных технологических слоях: сборе, анализе и визуализации данных.

1.1. Сенсоры и сети IoT

Это уровень сбора данных, обеспечивающий постоянное наблюдение за лесной средой.

Наземные стационарные сенсоры: Современные микроэлектронные устройства, питаемые от солнечных батарей или высокоемких аккумуляторов, позволяют развертывать автономные сети мониторинга. Они измеряют:

1. Климатические параметры: температура, влажность воздуха и почвы, атмосферное давление, скорость и направление ветра (для моделей пожарной опасности).
2. Параметры пожарной опасности: содержание CO2, частиц дыма в воздухе.
3. Акустический мониторинг: распознавание звуков пил, выстрелов, двигателей тяжелой техники с помощью алгоритмов машинного обучения на самом устройстве (TinyML) или при передаче данных на сервер.

Мобильные сенсоры:

1. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА/дроны): Обеспечивают мониторинг с высоким разрешением (до нескольких см/пиксель). Оснащаются мультиспектральными и тепловизионными камерами для оценки состояния растительности (NDVI-индекс), поиска очагов возгорания под пологом леса, точного картографирования вырубок [3].
2. Датчики на технике: GPS/ГЛОНАСС-трекеры на лесовозах позволяют в режиме реального времени отслеживать маршруты, выявляя перемещения в запрещенные зоны.

Дистанционные сенсоры:

Спутники: Происходит революция за счет развития низкоорбитальных группировок (например, Planet Labs, CubeSats), обеспечивающих ежедневный мониторинг всей территории Земли со средним разрешением. Спутники с SAR-радарами (синтезированной апертурой) позволяют получать данные независимо от погодных условий и времени суток, что критически важно для оперативного обнаружения изменений [1].

1.2. Передача данных

Ключевой вызов — обеспечение связи в удаленных и труднодоступных районах. Здесь применяются технологии LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), такие как LoRaWAN и NB-IoT, которые обеспечивают дальность связи до 10-15 км в сельской местности при крайне низком энергопотреблении. Для интеграции всех источников данных в единое пространство используются платформы IoT (например, Яндекс IoT Cloud, AWS IoT), которые агрегируют, фильтруют и первично обрабатывают потоки информации с тысяч устройств [4].

1.3. Анализ больших данных и искусственный интеллект

Собранные данные (спутниковые снимки, показания датчиков, метеоданные) образуют массив Больших данных. Их ценность раскрывается через аналитику:

1. Машинное обучение и компьютерное зрение: Нейросетевые алгоритмы (сверточные сети — CNN) обучаются на размеченных данных автоматически детектировать на спутниковых снимках и снимках с дронов:
- Изменения лесного покрова: гари, вырубки (легальные и нелегальные), ветровалы.
- Таксационные параметры: породный состав, высоту древостоя, класс бонитета. Лидарные технологии, устанавливаемые на БПЛА, предоставляют высокоточные трехмерные данные о структуре леса, существенно повышая точность таксации [2].
- Признаки болезней: изменение цвета крон на мультиспектральных снимках.

2 Предиктивная аналитика: На основе исторических данных о пожарах, текущих показаний датчиков (влажность, температура) и метеопрогнозов строятся вероятностные модели для прогнозирования пожарной опасности на несколько дней вперед с высокой точностью. Аналогичные модели могут прогнозировать вспышки численности вредителей.

3 ГИС-интеграция: Все данные и результаты анализа наносятся на электронные карты, создавая единую операционную картину для принятия решений.

Концепция «цифрового двойника» леса, как виртуальной динамической модели, является логическим развитием этого подхода [4].

2. Практическая реализация: от теории к кейсам

2.1. Борьба с лесными пожарами: от тушения к предупреждению

Традиционный подход: обнаружение пожара по факту возгорания (с вышек, от населения), запоздалая реакция.

Цифровой подход:

1. Раннее предупреждение: Сеть датчиков фиксирует падение влажности и рост температуры. Предиктивная модель на основе этих данных и прогноза погоды присваивает территории высокий класс пожарной опасности.
2. Мгновенное обнаружение: Спутниковая группировка с суточной периодичностью съемки или камеры на вышках с компьютерным зрением могут обноружить задымление на самой ранней стадии [1].
3. Оптимизация реагирования: На цифровую карту в режиме реального времени наносится очаг возгорания, прогнозируется его распространение с учетом ветра и рельефа. Диспетчер видит оптимальные маршруты подъезда и расположение ближайших сил и средств.

Результат: Сокращение времени реагирования, снижение площади повреждений, экономия ресурсов.

2.2. Противодействие незаконным рубкам: тотальный контроль

Традиционный подход: Обследование лесосек по плану, выявление нарушений постфактум.

Цифровой подход:

1. Постоянный мониторинг: Алгоритм ежедневно анализирует спутниковые снимки всей территории лесничества, автоматически детектируя все изменения лесного покрова. Система генерирует «тревоги» для инспекторов только на подозрительные изменения.
2. Подтверждение и реакция: На место возможного нарушения направляется дрон для получения фото- и видеофиксации высокого разрешения. Данные с акустических датчиков (звук пилы) подтверждают нарушение.
3. Контроль логистики: Маршруты движения зарегистрированных лесовозов отслеживаются онлайн. Выезд с неразрешенного участка или отклонение от маршрута блокирует запуск двигателя или автоматически сообщает в надзорные органы.

Результат: Резкое снижение экономической привлекательности незаконной деятельности за счет высоких рисков быть пойманным.

2.3. Устойчивое лесовосстановление и управление

1. Мониторинг санитарного состояния: Мультиспектральная съемка с дронов позволяет вычислять индексы растительности (например, NDVI), которые показывают жизнеспособность насаждения на этапе лесовосстановления, выявлять участки усыхания [3].
2. Инвентаризация и таксация: Лидарное сканирование с БПЛА позволяет строить высокоточные 3D-модели древостоев для оценки запаса древесины, высоты и плотности деревьев без трудоемких наземных замеров [2].
3. Планирование мероприятий: На основе точных данных о состоянии леса планируются рубки ухода, санитарные мероприятия, мероприятия по охране леса с максимальной эффективностью. Это напрямую способствует достижению целей устойчивого управления, провозглашенных FAO [5].

3. Вызовы внедрения и барьеры

Несмотря на потенциал, массовое внедрение «Цифрового леса» сталкивается с серьезными препятствиями:

1. Технические барьеры: Энергообеспечение сенсоров в условиях отсутствия солнечного света (зима, густой полог), устойчивая связь в глубокой тайге, необходимость защиты оборудования от вандализма и суровых погодных условий.

2. Финансовые барьеры: Высокие капитальные затраты на развертывание инфраструктуры (спутники, сети связи, датчики, ЦОДы). Однако ТСО (совокупная стоимость владения) может быть ниже потерь от неэффективный управления.

3. Кадровые барьеры: Острейший дефицит специалистов на стыке IT и лесохозяйственных дисциплин: дата-сайентистов, GIS-аналитиков, IoT-инженеров, понимающих специфику отрасли.

4. Организационные и нормативные барьеры: Консерватизм отрасли, неготовность менять устоявшиеся процессы, отсутствие утвержденных цифровых протоколов и стандартов обмена данными между ведомствами (Минприроды, Рослесхоз, региональные управления). Доклады международных организаций подчеркивают важность адаптации политик и институтов для поддержки таких инноваций [5].

4. Заключение и рекомендации

Цифровая трансформация лесного сектора — это не мода, а объективная необходимость для обеспечения его национальной безопасности, экономической эффективности и экологической устойчивости. Технологии микроэлектроники, IoT и больших данных позволяют совершить качественный скачок от реактивного, «слепого» управления к проактивному, основанному на данных и предиктивных моделях.

Для реализации этой трансформации в России необходим скоординированный усиленный контроль со стороны государства, бизнеса и научного сообщества. Можно предложить следующую дорожную карту:

1. Пилотные проекты: Запуск комплексных пилотов в наиболее проблемных регионах (например, в Сибири или на Дальнем Востоке) для отработки технологий, оценки эффективности и демонстрации результата.

2. ГЧП и инвестиции: Стимулирование государственно-частного партнерства для инвестиций в инфраструктуру (развертывание спутниковых группировок, сетей LoRaWAN в приграничных районах). Создание специальных фондов цифровизации лесного хозяйства.

3. Стандартизация и данные: Разработка и утверждение национальных стандартов сбора, хранения и обмена лесными данными. Принцип Open Data для неконфиденциальной информации для стимулирования развития частных аналитических сервисов.

4. Образование и переподготовка: Интеграция курсов по Data Science, GIS и IoT в программы лесных вузов. Создание программ повышения квалификации для действующих сотрудников лесхозов.

Только комплексный подход позволит России не только сохранить, но и рационально использовать свои лесные богатства в XXI веке, превратив вызовы цифровой эпохи в новые возможности для развития.

Список литературы

1. Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., & Hermosilla, T. (2018). Current status of Landsat program, science, and applications. Remote Sensing of Environment, 225, 127-147.

2. White, J. C., Coops, N. C., Wulder, M. A., Vastaranta, M., Hilker, T., & Tompalski, P. (2016). The role of lidar in sustainable forest management. The Forestry Chronicle, 92 (1), 46-58.

3. Анучин, Н. П., Бобринский, А. В., Грязькин, А. В. (2021). Применение беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве. Лесохозяйственная информация, (2), 66-81.

4. Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., Hermosilla, T., Tompalski, P., & McCartney, G. (2018). The role of IoT and digital twins in forest monitoring. Sensors, 18(11), 3606.

5. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. FAO.

References

1. Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., & Hermosilla, T. (2018). Current status of Landsat program, science, and applications. Remote Sensing of Environment, 225, 127-147.

2. White, J. C., Coops, N. C., Wulder, M. A., Vastaranta, M., Hilker, T., & Tompalski, P. (2016). The role of lidar in sustainable forest management. The Forestry Chronicle, 92 (1), 46-58.

3. Anuchin, N. P., Bobrinsky, A. V., and Gryazkin, A. V. (2021). Application of Unmanned Aerial Vehicles in Forestry. Forestry Information, (2), 66-81.

4. Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., Hermosilla, T., Tompalski, P., & McCartney, G. (2018). The role of IoT and digital twins in forest monitoring. Sensors, 18(11), 3606.

5. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. FAO.

DOI: 10.58168/Forestry2025_883-889
УДК 630 232: 630 6

ФОРМУЛА СОСТАВА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ИХ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ЛЕСОВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЦЕННОСТИ

М.П. Чернышов

д. с. - х. н., профессор кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Аннотация: Для каждой лесорастительной зоны и лесного района Российской Федерации характерны как чистые, так и смешанные по составу древесных пород леса естественного и искусственного происхождения, различающиеся по своему биологическому разнообразию, сырьевой и экологической ценности. В настоящее время актуальными стали проблемы определения лесоводственно-хозяйственной ценности разных совокупностей лесных насаждений, произрастающих на землях лесного фонда и землях других категорий. Защитные и эксплуатационные леса, находящиеся в государственной или муниципальной собственности имеют разное целевое назначение и выполняют различные общественно полезные функции. Для целей перспективного и оперативного лесного планирования, а также для выделения лесов, имеющих высокую экологическую значимость, необходимо иметь объективные критерии. Существующее отнесение лесов к разным категориям защитности и разновидностям по выполняемым приоритетным функциям затрудняет полномасштабное решение этих вопросов. Предложено использовать в качестве объективного критерия состав лесных насаждений не только в качестве оценки их биологического разнообразия, но и определения их лесоводственно-хозяйственной ценности.

Ключевые слова: состав насаждений, лесоводственно-хозяйственная ценность

FORMULA OF FOREST STOCKINGS AS A CRITERION OF THEIR BIODIVERSITY AND SIVITIC-ECONOMIC VALUE

M.P. Chernyshov

Dr. of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forestry, forest Inventory and forest Management
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Abstract: Each forest growth zone and forest region of the Russian Federation is characterized by both pure and mixed forests of natural and artificial origin, differing in their biological diversity, raw material and ecological value. At present, the problems of determining the forestry and economic value of different sets of forest plantations growing on forest fund lands and lands of other categories have become relevant. Protective and exploitation forests, which are in state or municipal ownership, have different intended purposes and perform various socially useful functions. For the purposes of long-term and operational forest planning, as well as for the identification of forests of high ecological significance, it is necessary to have objective criteria.

© Чернышов М. П., 2025

The existing classification of forests into different categories of protection and varieties according to the priority functions performed complicates a full-scale solution to these issues. It is proposed to use the composition of forest stands as an objective criterion not only to assess their biological diversity, but also to determine their forestry and economic value.

Keywords: composition of plantations, forestry and economic value

Введение. Выбор стратегии охраны, защиты и воспроизводства лесов будущего, режимов их последующего выращивания до достижения возраста рубки (возраста спелости), а также видов и режимов их многоцелевого неистощительного использования может считаться научно обоснованным только при наличии чётких требований, предъявляемых к целевой структуре и составу программно-целевых лесных насаждений. Сообразно целям избранной стратегии устойчиво-расширенного воспроизводства защитных и эксплуатационных лесов должны выбираться соответствующие методы их достижения, в том числе виды и режимы рубок ухода за лесом разной интенсивности (от смыкающихся молодняков до приспевающих насаждений) [2, 4].

В концептуальном представлении о лесах будущего РФ и в каждом отдельно взятом субъекте, а также во входящих в их состав административно-территориальных образований основные положения и характеристики моделей формирования той или иной программно-целевой структуры лесов каждого лесничества, в том числе участкового, а также хозяйства (хвойное, твердо- и мягколиственное) или образуемой в нём хозяйственной секции включают в себя широкий и разноуровневый набор нормативных требований и показателей лесного фонда, а именно: лесистость и пространственно-территориальное размещение лесов, их возрастная структура и породный состав, а также производительность, товарность, санитарное состояние и целый ряд других показателей лесных насаждений, определяемых, как правило, при проведении очередного лесоустройства [3].

Материалы и методы. Согласно ст. 69.1 Лесного кодекса РФ [5] при таксации лесов лесничеств, участковых лесничеств и лесных участков по методу классов возраста первичной учётной единицей является лесотаксационный выдел. Таксация лесов состоит из подготовительных, полевых и камеральных этапов работ. При таксации лесов наземными и дистанционными способами лесные насаждения разделяются на лесотаксационные выделы по комплексу качественных и количественных признаков, а также по существенным различиям величин какого-либо одного основного признака. Лесотаксационный выдел – это ограниченный лесной участок, относительно однородный по лесорастительным и почвенно-грунтовым условиям, по качественным и количественным показателям произрастающей на нем растительности, изменчивость которых не превышает нормативных допусков, и обусловливает проведение на всей его площади одних и тех же мероприятий по охране, защите, воспроизводству и использованию лесов.

Каждый лесотаксационный выдел в соответствии с его фактической лесоводственно-таксационной характеристикой относится к соответствующей категории земель (лесные и нелесные, покрытые или не покрытые лесной растительностью), определённому хозяйству, образуемому согласно целевой, главной или преобладающей в составе лесного насаждения породе (хвойное, твёрдо- и мягколиственное) и соответствующей хозяйственной секции – первичной расчётной единице лесного фонда лесничества.

В соответствии с действующей редакцией «Лесоустроительной инструкции» [3] к числу основных количественных и качественных признаков лесных насаждений относятся:

- происхождение (семенное, порослевое или искусственное);
- строение и форма (простые – одноярусные и сложные – двух-, трёх- или многоярусные);

- возрастная структура (одновозрастные, условно одновозрастные и разновозрастные, состоящие соответственно из одного, двух и более возрастных поколений деревьев);

- элемент леса (основная лесообразующая и составляющие древесные породы, главная или сопутствующая, ценная, второстепенная или малоценная породы);

- класс бонитета по шкале М.М. Орлова (от Iв до Vб);

- породный состав, отражающий в виде специальной численно-буквенной формулы доли участия каждой лесообразующей породы в общем запасе насаждения (чистые или смешанные по составу, простые или сложные по форме);

- продолжительность класса возраста (40, 20, 10 или 5 лет – для разных по скорости роста и долговечности древесных пород и 1 год – для кустарников);

- средний возраст древостоя (лет) с указанием соответствующего ему класса возраста (от I до XVII и выше);

- группа возраста, устанавливаемая по возрасту преобладающей в составе насаждения породе в соответствии с принятым возрастом рубки или возрастом спелости (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные);

- средняя высота, в том числе по лесообразующим породам и ярусам, м;

- средний диаметр, в том числе по лесообразующим породам и ярусам, см;

- относительная полнота или сомкнутость крон древесных растений (от 0,1 до 1,0), либо их густота (плотность стояния деревьев, количество растений), шт./га;

- запас древесины, в том числе по лесообразующим породам, $м^3$/га;

- класс товарности (от I до IV);

- тип леса и тип лесорастительных условий;

- степень радиационного загрязнения (слабая, средняя, высокая и очень высокая по цезию^{137} или стронцию^{90}), Ки/$км^2$;

- наличие или отсутствие подлеска и его характеристика (состав, высота и густота);

- наличие (отсутствие) подроста и характеристика его жизнеспособности, высоты и густоты;

- прочие количественные и качественные признаки лесного участка (рельеф, крутизна и экспозиция склона, наличие предварительных подпологовых лесных культур, напочвенный покров, задернение или наличие эрозии почвы и другие отличительные признаки).

Результаты исследований. Каждый из поименованных выше признаков в отдельности не соответствует статусу и требованиям универсального критерия, который мог быть использован для объективной комплексной оценки лесоводственно-хозяйственной ценности насаждений с целью выделения из них эталонных насаждений, исходя из следующего общепринятого определения эталонности непосредственно. Известно, что к эталонным насаждениям относятся лучшие по продуктивности, росту и состоянию лесные насаждения [1]. Их таксационные показатели считаются оптимальными, если по сравнению с другими лесными насаждениями они в наибольшей степени соответствуют лесорастительным условиям, имеют наивысшую продуктивность и в максимальной степени соответствуют целевому назначению лесов. При этом степень соответствия насаждений лесорастительным условиями можно установить по шкале оценки их биологической устойчивости: чем устойчивее насаждение, тем более оно соответствует имеющимся лесорастительным условиям.

Принято выделять три класса биологической устойчивости лесных насаждений:

1 класс – биологически устойчивые, не нуждающиеся в рубках ухода и выборочных санитарных рубках;

2 класс – с нарушенной устойчивостью, нуждающиеся в проведении рубок ухода и выборочных санитарных рубок;

3 класс – утратившие устойчивость, требующие безотлагательного проведения интенсивных выборочных или сплошных санитарных рубок.

Биологическая устойчивость как критерий качества лесных насаждений характеризует их способность сохранять свои свойства и функции, долговечность и длительность роста, а также присущую им структуру в условиях воздействия различных неблагоприятных факторов.

Долговечность как критерий качества лесных насаждений характеризуется общей продолжительностью жизни с момента его появления до наступления возраста естественной спелости. Однако есть древесные породы, преимущественно теневыносливые (ель, пихта, бук), формирующие разновозрастные, непрерывно продуцирующие насаждения, в которых старшие возрастные поколения циклично сменяются более молодыми группами деревьев.

Одним из универсальных и объективных лесоводственно-таксационных признаков лесных насаждений, отражающим их количественные и качественные параметры и одновременно определяющим их лесоводственно-хозяйственную ценность, является текущий состав лесообразующих пород. Качественную составляющую оценки чистого по составу насаждения отражает та или иная лесообразующая древесная порода (хвойная, твердо- или мягколиственная, главная или сопутствующая, ценная, второстепенная или малоценная), а смешанного по составу – их совокупность в определённом сочетании. Количественную составляющую оценки отражает доля участия той или иной древесной породы в общем запасе насаждения, выражаемая в процентах или специальным численным коэффициентом (от 1 до 10).

В настоящее время в соответствии с Лесоустроительной инструкцией [3] породный состав лесных насаждений выражается посредством специальной формулы с указанием коэффициентов в виде целых чисел и общепринятого сокращённого наименования породы (С, Е, Пх, Д, Бк, Яс, Б, Ос и др.). Например, 7С3Б или 5Д2Кл2Яс1Ос. При этом каждая единица в формуле состава соответствует в среднем 10 % участия породы в общем запасе древесины лесного насаждения (а с учётом точности округления – от 5 до 14 %). При доле породы в общем запасе менее 5 % она указывается в формуле состава со знаком «+», а если запас менее 2 %, то в формуле делается запись «ед.» (единичная примесь).

Допустимые случайные ошибки определения состава насаждений при I и II таксационных разрядах составляют при глазомерно-измерительном методе таксации 1 единицу или 10%, а при остальных методах таксации – 1,5 единицы или 15%.

В молодняках, имеющих возраст до 10 лет, состав лесного насаждения определяется по соотношению количества стволов растущих деревьев, составляющих основной древесный ярус (полог). Если в пологе молодняка имеются подлесочные породы (кустарники), то они в формулу состава насаждения не включаются, но могут учитываться при определении общей полноты (сомкнутости).

При наземных и дистанционных способах таксации лесов определяется преобладающая древесная порода древостоя, лесного насаждения в целом, либо по отдельным ярусам, в соответствии с которой в последствии осуществляется отнесение лесных насаждений к определённой хозяйственной секции, а также к тому или иному хозяйству (хвойному, твёрдо- или мягколиственному). При этом следует учитывать требования действующей Лесоустроительной инструкции [3].

Лесное насаждение относится к хвойному или твердолиственному хозяйству в тех случаях, когда суммарная доля участия древесных пород соответствующей группы (хвойных или твердолиственных) составляет в его составе не менее 5 единиц.

Если в лесном насаждении в равных долях смешаны хвойные и твердолиственные древесные породы с участием мягколиственных, то при доле участия мягколиственных древесных пород в составе древостоя 4 единицы и менее отнесение лесного насаждения к хвойному или твердолиственному хозяйству производится по большей хозяйственной ценности или лучшему соответствию древесных пород типу лесорастительных условий. Во всех остальных случаях лесные насаждения относятся к мягколиственному хозяйству. Данное условие не соблюдается при отнесении лесотаксационного выдела к

твердолиственному хозяйству в тех случаях, когда в составе древостоя преобладают низкотоварные дуб порослевого происхождения, ильмовые, все виды клёна (за исключением клёна остролистного и явора) и ясень зелёный.

Преобладающей древесной породой в древостое или лесном насаждении признается та, которая имеет наибольший коэффициент состава в группе древесных пород хозяйства, к которому отнесено лесное насаждение. При равенстве долей участия в составе двух или трёх древесных пород, относящихся к одному хозяйству, преобладающей считается та из них, которая более соответствует целевому назначению лесов или типу лесорастительных условий. Если в состав смешанного лесного насаждения входит только одна древесная порода из группы хвойных или твердолиственных, то она считается преобладающей, если доля её участия составляет не менее 5 единиц.

В тех случаях, когда доля участия отдельных древесных пород в составе лесного насаждения не превышает 2 единиц, преобладающей признается древесная порода, имеющая в данном типе лесорастительных условий (типе леса) наибольшую хозяйственную ценность.

В ареале естественного произрастания дуба при таксации лесов семенного происхождения (в дубравных и судубравных типах леса) во всех группах возраста дуб считается преобладающей в составе лесных насаждений при доле его участия в составе древостоев 3 единицы и более.

Ранжирование древесных пород по хозяйственной ценности в пределах каждого хозяйства определяется на стадии подготовительных работ в объекте лесоустройства с учётом типов условий местопроизрастания, целевого назначения лесов и сложившегося спроса на древесину.

Состав лесного насаждения признается оптимальным, если сложившееся в ходе естественного отбора и/или проведённых рубок ухода за лесом соотношение древесных пород обеспечивает его максимальную продуктивность [1, 2, 4].

Однако это положение справедливо лишь для эксплуатационных лесов. Для защитных лесов дополнительными критериями оптимальности состава насаждений выступают устойчивость, долговечность и биологическое разнообразие [2].

Многочисленными исследованиями доказано, что смешанные по составу и сложные по форме лесные насаждения более устойчивы к неблагоприятным факторам среды, к вредителям и болезням. Чем выше видовое разнообразие деревьев и кустарников, тем устойчивее лесное насаждение [2, 6].

В условиях рыночной экономики особое значение придаётся оценке не только запаса древесины, но и всем остальным видам лесных ресурсов – недревесным, пищевым, кормовым, техническим, лекарственным, рекреационным, оздоровительным, фаунистическим, охотничьим и т. д. Чем выше их совокупная стоимость, тем ценнее лесное насаждении с экономической точки зрения. Однако в разные возрастные периоды жизни насаждений (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные) соотношение количества, качества и стоимости единицы того или иного ресурса не остаётся неизменным. Как из-за естественного отбора (конкуренции) и из-за проведения рубок ухода разной интенсивности [4] состав смешанных насаждений не остаётся неизменным. Поэтому понятие «оптимальный состав» следует рассматривать дифференцированно и применительно не только по фактически сложившимся группам возраста, но и к реальным (иногда меняющихся в ходе хозяйственного воздействия) типам условий местопроизрастания (типам леса).

Вместе с тем, следует отметить, что с точки зрения оценки качества запаса насаждений существующий порядок определения формулы состава лесных насаждений имеет существенный недостаток. Возникает правомерный вопрос, а можно ли при одинаковой формуле состава (например, 6Д2Кл,1Яс1Ос), но двух разных по возрасту насаждений (например, 20 и 90 лет), растущих в смежных лесотаксационных выделах, объективно судить об их лесоводственной, хозяйственной и рыночной ценности? А можно

ли это сделать при одинаковой формуле состава и одинакового возраста для двух разных по полноте насаждений (0,4 и 0,9). Отрицательный ответ вполне очевиден и обоснован.

Для этой цели необходимо располагать сведениями не только об относительной доле каждой древесной породы в составе насаждения, но и ту величину запаса древесины, которая приходится на 1 единицу состава. Это может 10, 20, 30, 80 и более $м^3$/га. Таким образом, в формуле состава лесных насаждений, разнящихся по полноте, возрасту и продуктивности, её численный коэффициент, равный 1, скрывает за собой разное количество древесины, качество которой повышается до возраста технической спелости.

Таким образом следует правомерный вывод о том, что реальный вес единицы (1, 2 или 5) в формуле состава молодняков, средневозрастных или приспевающих насаждений любой древесной породы несоразмерен с единицей (1, 2 или 5) в формуле состава спелого или перестойного насаждения этой же породы.

Заключение. Исходя из анализа рассмотренных выше критериев и аргументов, следует признать необходимость в модернизации существующего порядка определения формулы состава лесных насаждений.

При проведении лесоустройства точность определения запаса насаждений составляет при запасе до 50 $м^3$/га – 5 $м^3$, а при запасе более 50 $м^3$/га – 10 $м^3$, а в таксационных описаниях запас указывается по породам и элементам леса в десятках кубометров с точностью до 1,0.

Считаем, что в условиях цифровизации лесоустройства наряду с привычным численным коэффициентом доли участи древесной породы (от 1 до 10 ед.) в формуле состава лесного насаждения целесообразно указывать ещё и относительный индекс запаса в виде дополнительного степенного коэффициента, обозначающего величину наличного запаса в условных единицах. В качестве примера ниже приведена рекомендуемая нами усовершенствованная формула состава смешанного лесного насаждения. Например, $4Дч^{5}2Яс^{3}2Кло^{3}2Ос^{2}$, где дополнительный степенной индекс означает относительный наличный запас каждой древесной породы, представленный в форме численных индексов (^{2}, ^{3}, или ^{5}), в составе смешанного дубово-ясенёво-клёнового лесного насаждения.

Известно, что в возрасте естественной спелости максимальный запас древесины в нормальных насаждениях большинства древесных пород не превышает 800-850 $м^3$/га. Если градуировать этот размах запаса древесины в условных единицах (от 1 до 10), то на 1 условную единицу наличного запаса придётся приблизительно 80-85 $м^3$/га. Это будет соответствовать степенному индексу, равному 1.

Предлагаемый подход позволить упростить установление лесоводственной и хозяйственной ценности лесных насаждений на основе одного критерия – формулы состава. Кроме того, это позволит осуществлять соответствующие запросы потребителей из таксационных баз данных в электронном виде за более короткое время.

Список литературы

1. Есипов Н.В. Обоснование параметров эталонных дубовых насаждений для Центральной лесостепи. / Н.В. Есипов, М.П. Чернышов /. Проблемы и перспективы развития лесомелиораций и лесного хозяйства в Южном федеральном округе // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 100-летию основания Новочеркасской государственной мелиоративной академии (25-27 апреля 2007 г.). – Новочеркасск, 2007. – С. 40-44.

2. Лебедева, Н.В. Биологическое разнообразие/ Н.В. Лебедева, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволуцкий. – Москва: Владос, 2004. – 432 с.

3. Приказ Минприроды России «Об утверждении Лесоустроительной инструкции» от 05.08.2022 № 510. – URL: https://docs.cntd.ru/document/351878696 (дата обращения 18.07.2025).

4. Приказ Минприроды России «Об утверждении Правила рубок ухода за лесами» от 22 ноября 2017 г. №626. – URL: http://www.pravo.gov.ru (дата обращения 11.11.2025).

5. Федеральный закон «Лесной кодекс Российской Федерации» от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ. – URL: http://www.pravo.gov.ru (дата обращения 11.07.2025).

6. Чернышов М.П. Оптимизация породного состава лесов Центрального Черноземья как способ снижения их пожарной опасности. / М.П. Чернышов /. Воспроизводство, использование, охрана, защита и биоразнообразие лесов на юге европейской части России: сборник статей, посвящённый 75-летию Южно-европейской научно-исследовательской лесной опытной станции. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2024. – С. 237-241.

References

1. Esipov N.V. Justification of parameters for standard oak plantations for the Central Forest-Steppe. / N.V. Esipov, M.P. Chernyshov /. Issues and prospects for the development of forest reclamation and forestry in the Southern Federal District // Materials of the All-Russian Research Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the founding of the Novocherkassk State Reclamation Academy (April 25-27, 2007). – Novocherkassk, 2007. – P. 40-44.

2. Lebedeva, N.V. Biological Diversity. / N.V. Lebedeva, N.N. Drozdov, D.A. Krivolutskiy /. – Moscow: Vlados, 2004. – 432 p.

3. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia "On Approval of the Forestry Instruction" dated 05.08.2022 No. 510. – URL: https://docs.cntd.ru/document/351878696 (accessed 18.07.2025).

4. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia "On Approval of the Rules for Forest Care Logging" dated November 22, 2017 No. 626. – URL: http://www.pravo.gov.ru (accessed 11.07.2025).

5. Federal Law "Forest Code of the Russian Federation" dated December 4, 2006, No. 200-FZ. – URL: http://www.pravo.gov.ru (accessed on 11.07.2025).

6. Chernyshov M.P. Optimization of Species Composition of Forests in the Central Black Earth Region as a Means of Reducing Fire Hazard. / M.P. Chernyshov /. Reproduction, Use, Protection, Preservation, and Biodiversity of Forests in the Southern European Part of Russia: a collection of articles dedicated to the 75th anniversary of the Southern European Research Forest Experimental Station. – Pushkino: VNIILM, 2024. – P. 237-241.

DOI: 10.58168/Forestry2025_890-897
УДК 528.88:591.5

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ БПЛА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЗООЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ

А.В. Чураков
к.т.н., доцент кафедры «Автоматизации, метрологии и управления в технических системах»
М.А. Куттуева
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова,Россия

Аннотация. Зоологическая активность в лесном фонде, такая как деятельность короедов и повреждение животными, представляет значительную угрозу для здоровья и продуктивности лесов. Традиционные методы мониторинга часто трудоемки и ограничены по охвату. В данной работе представлен метод автоматизированного обнаружения и классификации объектов зоологической активности с использованием пространственно-временных данных, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), и интеллектуального анализа.
Ключевые слова: БПЛА, зоологическая активность, лесной фонд, интеллектуальный анализ данных

INTELLIGENT ANALYSIS OF SPACE-TIME UAV DATA FOR DETECTION AND CLASSIFICATION OF OBJECTS OF ZOOLOGICAL ACTIVITY IN THE FOREST FUND

A.V. Churakov
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Control in Technical Systems,
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, Russia

M.A. Kuttueva
St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, Russia

Abstract.
Zoological activity in the forest fund, such as bark beetles and animal damage, poses a significant threat to forest health and productivity. Traditional monitoring methods are often time-consuming and limited in scope. This paper presents a method for automated detection and classification of objects of zoological activity using spatiotemporal data obtained using an unmanned aerial vehicle (UAV) and intelligent analysis.
Keywords: UAVs, zoological activity, forest fund, data mining

Поддержание здоровья и продуктивности лесов требует эффективного мониторинга зоологической активности, которая может проявляться в различных формах, от повреждения крон насекомыми до выборочного уничтожения подроста животными. Традиционные методы мониторинга зоологической активности, такие как наземные обследования и авиационный визуальный осмотр, характеризуются рядом существенных недостатков. Они трудоемки, требуют больших временных и финансовых затрат, и часто

© Чураков А. В., Куттуева М. А., 2025

ограничены в охвате территории [6]. Кроме того, они могут быть субъективными и не обеспечивать достаточную точность и детализацию данных, что подчеркивает необходимость разработки более эффективных подходов.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга лесного фонда предоставляет ряд значительных преимуществ по сравнению с традиционными методами [1]. Однако, обработка больших объемов данных, получаемых с БПЛА, вручную является трудоемкой и неэффективной. В связи с этим, применение методов интеллектуального анализа данных (ИАД), таких как машинное обучение и пространственно-временной анализ, позволяет автоматизировать процесс обнаружения и классификации объектов зоологической активности, значительно повысить точность результатов. ИАД позволяет выявлять закономерности и аномалии, которые могут быть упущены при визуальном анализе, и, следовательно, повышает эффективность мониторинга и управления лесными ресурсами. Оперативное обнаружение и классификация объектов зоологической активности имеют решающее значение для своевременного принятия мер по борьбе с вредителями и болезнями. ИАД обеспечивает автоматизированную обработку данных БПЛА в режиме, близком к реальному времени, что позволяет оперативно предоставлять информацию лицам, принимающим решения, и повышать эффективность управления лесными ресурсами.

Типы данных БПЛА, пригодные для анализа зоологической активности:

1. RGB-изображения: RGB-изображения (Red, Green, Blue) представляют собой стандартные цветные изображения, которые могут быть получены с помощью обычных цифровых камер [9]. Они позволяют визуально оценивать состояние лесного покрова и выявлять некоторые виды зоологической активности, такие как: усыхание деревьев (изменение цвета хвои или листвы), повреждение крон (механические повреждения, вызванные животными или насекомыми), изменение в подлеске (вытаптывание растительности животными или изменения в видовом составе подлеска). Однако, RGB-изображения имеют ограниченную информативность для выявления скрытых или ранних признаков зоологической активности, поскольку они отражают только видимый спектр электромагнитного излучения.
2. Мультиспектральные изображения: Мультиспектральные изображения содержат информацию о спектральной отражательной способности объектов в нескольких диапазонах электромагнитного спектра, включая видимый, ближний инфракрасный (NIR) и коротковолновый инфракрасный (SWIR) диапазоны. Это позволяет получать более детальную информацию о состоянии растительности и выявлять признаки зоологической активности, невидимые в видимом диапазоне. Примеры: оценка состояния растительности (спектральные индексы растительности, такие как NDVI и EVI, рассчитываемые на основе мультиспектральных данных, позволяют оценивать биомассу, содержание хлорофилла и общее состояние растительности [2]. Изменения в этих индексах могут указывать на поражение деревьев вредителями, болезнями или животными), выявление стресса растений (мультиспектральные данные позволяют выявлять признаки стресса растений на ранних стадиях, до появления видимых симптомов. Например, изменение отражательной способности в красном крае спектра может указывать на недостаток питательных веществ или водный стресс), классификация видов растительности (мультиспектральные данные позволяют классифицировать виды растительности и определять изменения в видовом составе лесного покрова, вызванные зоологической активностью). (рисунок 1)

Данные LiDAR: LiDAR - это технология дистанционного зондирования, которая использует лазерный луч для измерения расстояния до объектов на поверхности земли. Данные LiDAR позволяют создавать трехмерные модели лесного покрова и получать информацию о высоте деревьев, плотности крон и структуре леса [4]. Это позволяет: оценить вертикальную структуру леса, определить высоту деревьев, плотность крон и запас древесины. Изменения в структуре леса могут указывать на вырубку, повреждение ветром или зоологическую активность, а также, выявлять поврежденные или усохшие деревья на основе анализа формы крон и высоты деревьев. (рисунок 2)

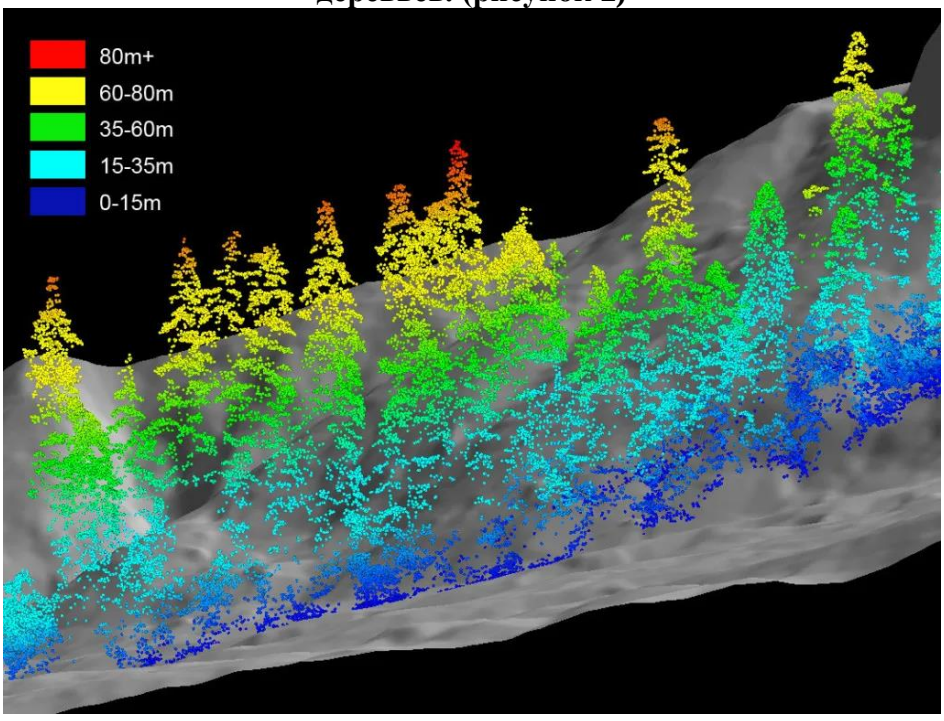


Таблица 1 пригодности данных БПЛА для выявления различных видов зоологической активности:

Вид зоологической активности	RGB-изображения	Мультиспектральные изображения	Данные LiDAR
Поражение деревьев короедом-типографом	+	+ + +	+ +
Повреждение крон деревьев животными	+ +	+	+

Вытаптывание растительности животными	+ + +	+ +	+
Распространение болезней растений	+	+ + +	+
Вырубка леса	+ + +	+ +	+ + +
Повреждение ветром	+ +	+	+ + +

"+" - пригодность низкая

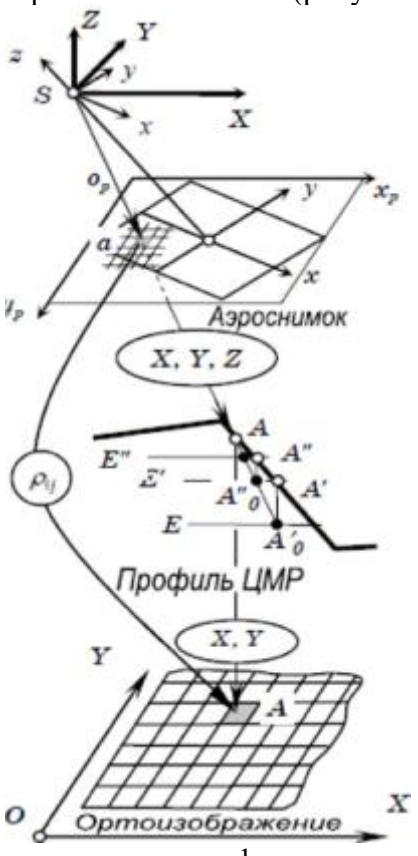
"++" - пригодность средняя

"+++" - пригодность высокая

Выбор типа данных БПЛА для анализа зоологической активности зависит от конкретной задачи, вида зоологической активности и доступных ресурсов.

Данные, получаемые с БПЛА, требуют предварительной обработки для устранения геометрических искажений, радиометрических ошибок и шумов, что необходимо для обеспечения точности последующего анализа и интерпретации. Основные методы предварительной обработки включают ортотрансформирование, калибровку и фильтрацию шумов.

Ортотрансформирование - это процесс геометрической коррекции изображений, в результате которого устраняются искажения, вызванные перспективой съемки, рельефом местности и наклоном камеры [7]. В результате ортотрансформирования создается ортофотоплан - изображение, обладающее свойствами карты, т.е. на котором все объекты отображаются в истинных размерах и положениях. (рисунок 3)



Используются разные методы ортотрансформирования, например:

- На основе опорных точек (GCP): Этот метод требует использования точно определенных опорных точек (GCP - Ground Control Points), координаты которых известны с высокой точностью. GCP используются для построения математической модели, которая связывает координаты пикселей на изображении с координатами на местности.
- На основе данных о положении и ориентации камеры (Direct Georeferencing): Этот метод использует данные о положении и ориентации камеры

(полученные с помощью GPS/IMU) для непосредственного расчета координат пикселей на изображении. Этот метод не требует использования GCP, но требует более точной калибровки сенсора.

Радиометрическая калибровка - это процесс коррекции яркости пикселей на изображении для устранения влияния различных факторов, таких как изменения освещения, атмосферные эффекты и характеристики сенсора. Радиометрическая калибровка необходима для обеспечения сопоставимости данных, полученных в разное время и в разных условиях освещения[8]. Методы радиометрической калибровки:

- Калибровка на основе эталонных поверхностей: Этот метод требует использования эталонных поверхностей с известными значениями отражательной способности. Яркость пикселей на изображении корректируется таким образом, чтобы она соответствовала отражательной способности эталонных поверхностей.
- Атмосферная коррекция: Этот метод использует модели распространения электромагнитного излучения в атмосфере для учета влияния атмосферных эффектов на яркость пикселей.
- Калибровка на основе данных о характеристиках сенсора: Этот метод использует данные о характеристиках сенсора (например, о его спектральной чувствительности и темновом токе) для коррекции яркости пикселей.
- Влияние на точность: Радиометрическая калибровка повышает точность анализа спектральных характеристик объектов и обеспечивает сопоставимость данных, полученных в разное время. Неточная радиометрическая калибровка может привести к ошибкам при классификации объектов и при анализе изменений во времени.

Фильтрация шумов: Данные БПЛА могут содержать различные виды шумов, которые могут снижать точность анализа и интерпретации. Шумы могут быть вызваны различными факторами, такими как турбулентность воздуха, вибрация камеры и электронные помехи. Фильтрация шумов - это процесс удаления или уменьшения шумов на изображении[3]. Методы фильтрации шумов:

- Пространственная фильтрация: Этот метод использует фильтры, основанные на анализе пространственных окрестностей пикселей, для удаления шумов. Примеры пространственных фильтров: медианный фильтр, фильтр Гаусса, фильтр Собеля.
- Частотная фильтрация: Этот метод использует преобразование Фурье для анализа частотного состава изображения и удаления шумов в определенном диапазоне частот.
- Вейвлет-фильтрация: Этот метод использует вейвлет-преобразование для разложения изображения на различные частотные компоненты и удаления шумов на основе анализа вейвлет-коэффициентов.
- Влияние на точность: Фильтрация шумов повышает точность анализа изображений и улучшает визуальное качество данных. Однако, чрезмерная фильтрация может привести к потере полезной информации и снижению точности анализа.

Предварительная обработка данных БПЛА является необходимым этапом для обеспечения точности последующего анализа и интерпретации. Выбор конкретных методов предварительной обработки зависит от типа данных, задач исследования и доступных ресурсов.

Оптимизация планов полетов БПЛА для эффективного мониторинга зоологической активности требует учета множества факторов. Теоретически, задача оптимизации заключается в нахождении компромисса между разрешением снимков, площадью покрытия, временем полета и энергопотреблением. Высота полета обратно пропорциональна разрешению: меньшая высота позволяет обнаруживать мелкие объекты, но увеличивает время полета и риски, тогда как большая высота ускоряет сбор данных, но снижает детализацию. Перекрытие снимков (продольное и поперечное) необходимо для качественного построения ортофотопланов и 3D-моделей, особенно на сложном рельефе, но избыточное перекрытие увеличивает время полета и объем данных. Время суток влияет

на освещение и контрастность изображений: съемка в полдень может давать сильные тени, а утренние/вечерние часы – более мягкое освещение, но меньшую яркость. Оптимальное время зависит от задач, например, для тепловизионной съемки лучше подходит ночное время. Скорость полета влияет на размытие изображения: высокая скорость ускоряет сбор данных, но увеличивает размытие, а низкая – уменьшает его, но увеличивает время полета. Разработка рекомендаций требует учета взаимодействия всех факторов. Обнаружение мелких объектов требует низкой высоты, высокого перекрытия и мягкого освещения. Оценка распространения очагов – большей высоты, меньшего перекрытия и достаточной освещенности. Мониторинг ночной активности – тепловизионной съемки в темноте.

Пространственно-временной анализ данных БПЛА важен для отслеживания динамики зоологической активности. Используем пространственную статистику и анализ временных рядов, чтобы понять, как активность меняется в пространстве и времени. Анализ временных рядов помогает выявить тренды и прогнозировать изменения численности популяции или площади поражения, применяя модели ARIMA и другие. Обнаружение аномалий позволяет находить внезапные вспышки или неожиданные очаги активности, используя статистические методы, но важно правильно определить, что считается "нормальным". Анализ пространственной автокорреляции показывает, как активность связана в разных точках, например, кластеры очагов, что помогает понять факторы распространения.

Для классификации объектов зоологической активности применяем машинное обучение. Алгоритмы, такие как Random Forest, SVM и Deep Learning, позволяют автоматически распознавать виды животных или типы повреждений [5]. Random Forest устойчив к переобучению, SVM хорошо разделяет данные, а Deep Learning требует больших данных, но может быть очень точным. Важно правильно выбрать признаки, например, спектральные характеристики или текстуры, и использовать подходящие стратегии обучения для достижения высокой точности.

Интеграция данных БПЛА с другими источниками, например, данными метеостанций или наземных обследований, может значительно повысить точность анализа. Данные о погоде помогают понять влияние условий на активность животных, а данные наземных обследований - проверить результаты анализа БПЛА. Согласование различных типов данных и их объединение в единую платформу требует использования методов пространственной интерполяции и статистического моделирования. В целом, пространственно-временной анализ, машинное обучение и интеграция данных – это мощные инструменты для анализа зоологической активности с использованием данных БПЛА.

В настоящем теоретическом исследовании рассмотрены возможности применения интеллектуального анализа пространственно-временных данных, полученных с БПЛА, для детектирования и классификации объектов зоологической активности в лесном фонде. Анализ показал, что сочетание современных методов сбора данных и передовых алгоритмов обработки открывает новые перспективы для мониторинга и изучения экосистем.

Теоретически обоснована эффективность использования данных БПЛА различных типов (RGB, мультиспектральные, LiDAR) для выявления разнообразных признаков зоологической активности. Подробно рассмотрены методы предварительной обработки данных, такие как ортотрансформирование, радиометрическая калибровка и фильтрация шумов, подчеркнута их критическая роль в обеспечении геометрической и радиометрической точности, необходимой для дальнейшего анализа. Проанализированы методы пространственно-временного анализа, машинного обучения и интеграции разнородных данных, выявлены их преимущества и ограничения для решения различных задач мониторинга. Результаты теоретического анализа указывают на высокую перспективность предложенного подхода для автоматизации и повышения точности детектирования и классификации объектов зоологической активности. Использование

БПЛА позволяет получать данные с высоким пространственным и временным разрешением, недоступные при использовании традиционных методов мониторинга. Применение методов машинного обучения обеспечивает возможность автоматического распознавания и классификации объектов на основе их спектральных, текстурных и геометрических характеристик.

Данное исследование вносит вклад в теоретическое обоснование применения ИАД для мониторинга зоологической активности в лесном фонде, предлагая комплексный подход, основанный на сочетании современных технологий сбора данных и передовых методов анализа. Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных систем мониторинга и управления лесными ресурсами, а также для проведения фундаментальных исследований в области экологии и зоологии.

Список литературы

1. Алексеенко, Н.А. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов в биогеографических исследованиях на территории заповедника «Белогорье» / Н.А. Алексеенко, А.А. Медведев, И.А. Карпенко // ИнтерКарто/ИнтерГИС-20: Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение : Мат-лы междун. конф., Белгород, Харьков (Украина), Кигали (Руанда) и Найроби (Кения), 23 июля-8 августа 2014 г. Белгород: «Константа», 2014. С. 69-80.

2. Белов М.Л., Белов А.М., Городничев В.А., Альков С.В. Анализ возможностей мультиспектрального оптического метода мониторинга лесных территорий. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2022. № 4 (141). С. 56-69.

3. Волков Д.М., Савельев А.И. Метод фильтрации шумов в сигнале гироскопического датчика на основе адаптивного альфа-бета-фильтра калмана// Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». 2024. Том 16. № 4. С. 16–23.

4. Лидар. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%80 (дата обращения 27.08.2025).

5. Ляпин А.Д. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ SVM (SUPPORT VECTOR MACHINE) И RF (RANDOM FOREST) // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ». № 6 (87). Том 3. ИЮНЬ 2025. С. 1816-1823.

6. Медведев А.А., Алексеенко Н.А., Карпенко И.О. Мониторинг животного мира на особо охраняемых территориях с помощью беспилотных летательных аппаратов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 17. № 6. 2015. С. 304-309.

7. Ортотрансформирование (ортокоррекция) изображения (снимка). URL: https://tochno-rostov.ru/useful/slovar-geodeziya/o/ortotransformirovanie-ortokorrektsiya-izobrazheniya-snimka.html (дата обращения 27.08.2025).

8. Радиометрическая коррекция. URL: http://geol.irk.ru/baikal/dzz/pr_us/rad_corr.htm (дата обращения 27.08.2025)

9. Цветовое пространство RGB простыми словами. URL: https://doprof.ru/professii/tsvetovoe-prostranstvo-rgb-prostymi-slovami/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения 26.08.2025).

References

1. Alekseenko, N. A., Medvedev, A. A., & Karpenko, I. A. (2014). Opyt ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v biogeograficheskikh issledovaniyakh na territorii zapovednika "Belogor'e" [The experience of using unmanned aerial vehicles in biogeographical research on the territory of the "Belogorye" Nature Reserve]. In InterCarto/InterGIS-20: Sustainable development of territories: Cartographic and geoinformation

support : *Proceedings of the International Conference*, Belgorod, Kharkiv (Ukraine), Kigali (Rwanda) and Nairobi (Kenya), July 23-August 8, 2014 (pp. 69-80). Konstanta.

2. Belov, M. L., Belov, A. M., Gorodnichev, V. A., & Al'kov, S. V. (2022). Analiz vozmozhnostey mul'tispektral'nogo opticheskogo metoda monitoringa lesnykh territoriy [Analysis of the capabilities of the multispectral optical method for forest area monitoring]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie*, (4) (141), 56–69.

3. Volkov, D. M., & Savelyev, A. I. (2024). Metod fil'tratsii shumov v signale giroskopicheskogo datchika na osnove adaptivnogo al'fa-beta-fil'tra Kalmana [A method for noise filtering in a gyroscopic sensor signal based on an adaptive alpha-beta Kalman filter]. *Vestnik YuUrGU. Seriya "Matematika. Mekhanika. Fizika"*, 16 (4), 16–23.

4. Lidar. (2025, August 27). In *Wikipedia*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%80.

5. Lyapin, A. D. (2025). Sravnitel'nyy analiz algoritmov SVM (Support Vector Machine) i RF (Random Forest) [Comparative analysis of SVM (Support Vector Machine) and RF (Random Forest) algorithms]. *International Scientific Journal "Vestnik Nauki"*, 3 (6)(87), 1816–1823.

6. Medvedev, A. A., Alekseenko, N. A., & Karpenko, I. O. (2015). Monitoring zhivotnogo mira na osobo okhranyaemykh territoriyakh s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Monitoring wildlife in specially protected areas using unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*, 17 (6), 304–309.

7. Orthotransformirovanie (ortokorrektsiya) izobrazheniya (snímka) [Orthotransformation (orthocorrection) of an image (photograph)]. (n.d.). *Tochno-Rostov*. Retrieved August 27, 2025. URL: https://tochno-rostov.ru/useful/slovar-geodeziya/o/ortotransformirovanie-ortokorrektsiya-izobrazheniya-snimka.html.

8. Radiometricheskaya korrektsiya [Radiometric correction]. (n.d.). *Geol.irk.ru*. Retrieved August 27, 2025. URL: http://geol.irk.ru/baikal/dzz/pr_us/rad_corr.htm.

9. Tsvetovoe prostranstvo RGB prostymi slovami [RGB color space in simple terms]. (n.d.). *Doprof.ru*. Retrieved August 26, 2025. URL: https://doprof.ru/professii/tsvetovoe-prostranstvo-rgb-prostymi-slovami/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.

Научное издание

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ: НОВЫЕ ПАРАДИГМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ. FORESTRY – 2025

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО ЛЕСНОГО ФОРУМА, ПРИУРОЧЕННОГО К ПРАЗДНОВАНИЮ 95-ЛЕТИЯ ВГЛТУ

Воронеж, 30 сентября 2025 г.

Ответственный редактор Н.В. Яковенко

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 30.10.2025. Объем данных 72,2 Мб
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8