DOI: 10.58168/CouForCom2026_103-109
УДК 630:004.942

ОЦЕНКА ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ АНАЛОГОВ ЛЕСА ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ И ЗАРУБЕЖНЫМИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯМИ

Жайворонок Д.А., Посметьев В.И., Никонов В.О.
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

ASSESSMENT OF THE EXPERIENCE OF USING DIGITAL FOREST ANALOGUES BY DOMESTIC AND FOREIGN RESEARCHERS

Zhayvoronok D.A., Posmetyev V.I., Nikonov V.O.
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация: Настоящая работа продолжает серию публикаций кафедры, посвящённых ресурсосберегающим технологиям в лесном комплексе. Авторы сознательно отказываются от рассмотрения цифрового аналога леса как универсального инструмента и сосредотачиваются на узком прикладном вопросе: насколько применимы существующие наработки к заготовке хвойной биомассы.

Abstract: This work continues the department's series of publications on resource-saving technologies in the forest sector. The authors deliberately avoid treating the digital forest analogue as a universal tool and focus on a narrow-applied question: to what extent existing developments are applicable to coniferous biomass harvesting.

Ключевые слова: хвоя, цифровой аналог леса, дистанционное зондирование, лес, объект.

Keywords: pine needles, digital twin of the forest, remote sensing, forest, object.

Особенности промышленной заготовки хвои широко освещены как в отечественных, так и зарубежных научных публикациях. Как правило, раскрывать содержание данного процесса начинают с описания актуальности заготовки с точки зрения последующего применения: корма, парфюмерия, топливо и др. Однако, на данный момент существует как минимум две основные проблемы:

– первая заключается в получении высококачественного сырья, предназначенного для безопасного использования в качестве полноценных кормов, а не просто кормовых добавок в животноводстве и звероводстве;

– вторая проблема состоит в том, что лесная таксация считает в первую очередь ствол, в то время как крону оценивают косвенно, по приближенным коэффициентам. Для хвои эти коэффициенты дают недопустимо большую ошибку, что не позволяет планировать промышленную заготовку высококачественного конечного продукта. Сырья много, а посчитать его точно – нечем. Поэтому создание полноценного цифрового аналога леса является актуальной задачей.

© Жайворонок Д. А., Посметьев В. И., Никонов В. О., 2026

Насколько велика ошибка, можно оценить по графику, изображенному на рис. 1.

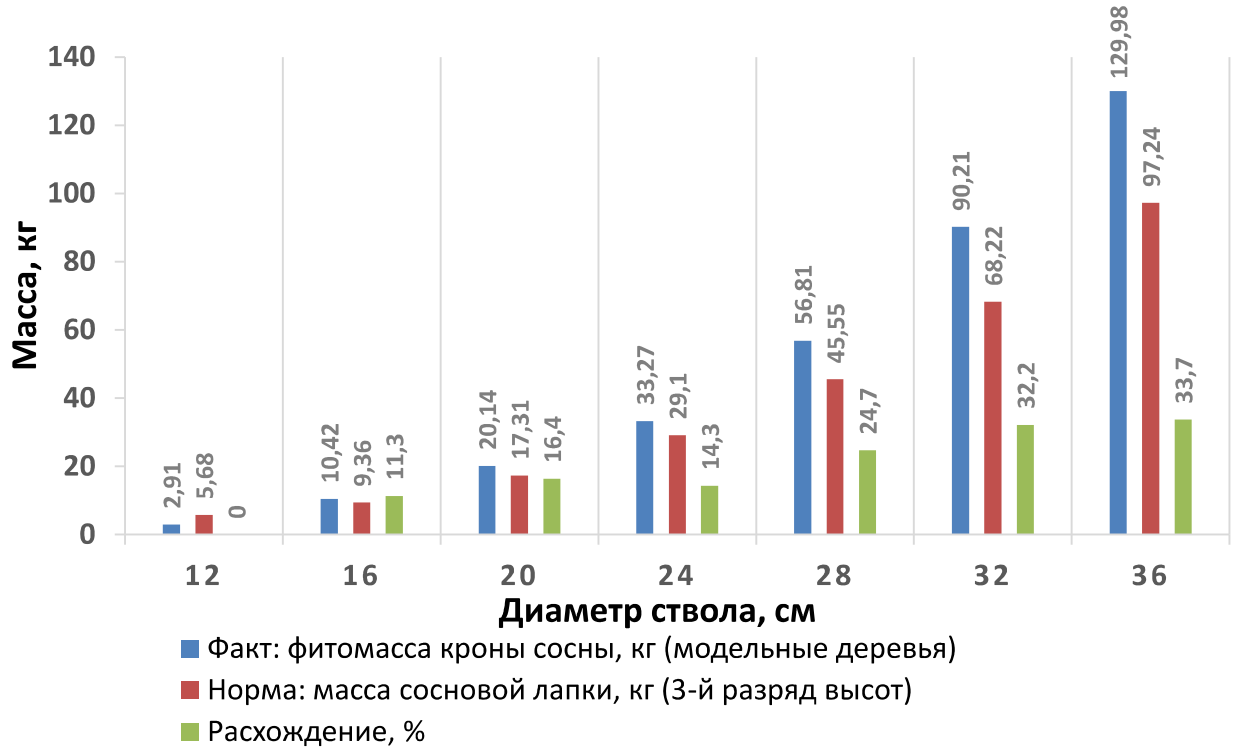


Рисунок 1 – Фактические и нормативные значения фитомассы кроны сосны по ступеням толщины

На графике сопоставлены два ряда данных по сосне. «Факт» – результаты обмеров модельных деревьев: общая фитомасса кроны, приведённая к ступеням толщины 12-36 см. «Норма» – значения из нормативно-справочной таблицы массы сосновой лапки, взятые по 3-му разряду высот. Расхождение рассчитано как отношение разности фактического и нормативного значений к нормативу, в процентах.

При диаметре 12 см фактическая фитомасса ниже нормативной почти вдвое (48,8%). Это объясняется тем, что нормативная таблица ориентирована на деревья с развитой кроной, тогда как в выборку модельных деревьев попали экземпляры с ослабленной кроной. Начиная с диаметра 16 см знак расхождения меняется: факт превышает норму на 11-16% в диапазоне 16-24 см и на 25-34% при 28-36 см. Рост расхождения с увеличением диаметра указывает на то, что нормативные коэффициенты, выведенные для стволовой древесины, систематически занижают фитомассу кроны у крупных деревьев. Именно этот диапазон – 28-36 см представляет интерес для промышленной заготовки хвои, и именно здесь ошибка учёта максимальна.

Цифровой аналог лесного массива строится на двух основных элементах: лазерное сканирование и мультиспектральная съёмка. Вместе они закрывают четыре задачи, которые в обычной таксации либо не решаются, либо решаются частично.

Первая задача – определение породы дерева, причём по каждому дереву порода определяется отдельно. Для хвои это особенно важно, так как для заготовки подходят не все породы подряд. Например, если сосна, ель и пихта подходят, то берёза и осина – нет.

Второе – осуществляется отбор биомассы кроны, а не ствола, как это делается в подавляющем большинстве случаев.

Третье – сроки. Заготовка привязана к сезону, и это надо учитывать заранее.

Четвёртое – экология. Ограничения по работе с лесным массивом проверяются до начала работ, а не после.

Искусственные спутники земли осуществляют вспомогательную функцию. Sentinel-2 и Landsat дают разрешение около 10-30 м на пиксель, что позволяет оконтурить хвойный массив, отметить очаги усыхания и болезни, а также отследить сезонные изменения крон. Однако, посчитать каждое дерево не представляется возможным, так как разрешения 10-30 м на пиксель для этого недостаточно. Это не временная проблема, это предел метода. Поштучный учёт возможен только посредством беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и лидара (лазерный прибор, который измеряет расстояния до объектов с помощью световых импульсов).

Лазерное сканирование строит облако точек, по которому алгоритмы машинного зрения восстанавливают высоту, диаметр ствола, размер и плотность кроны, координаты дерева. Для заготовки хвои важен именно последний блок параметров: объём, плотность и форма кроны коррелируют с массой хвои, а значит, по лидарным данным можно прогнозировать выход сырья. Насколько это точнее традиционных методов – видно из табл. 1.

Наиболее известная отечественная разработка в этой области – «ПармаСкан». Программа обрабатывает данные лазерного сканирования с помощью ИИ и формирует таксационное описание участка, включая ортофотоплан с разбивкой по породам. Для выделения сосны, ели, пихты и лиственницы данная технология очень хорошо подходит [1, 4].

Лазерное сканирование с последующей обработкой данных активно используют Группа «Илим» и Пермский ЦБК. Последний развернул дистанционный мониторинг на арендованной базе свыше 400 тыс. га [2, 5]. Показателен эпизод с оценкой запасов: спутниковые методы дали по одному из кварталов 28442 м³, лидарная съёмка – 32352 м³. Расхождение почти в 4 тыс. м³ на квартал, и оно не в пользу традиционного метода. По годовой оценке, уточнение составило 25-29 тыс. м³. Для хвойной биомассы эффект должен быть сопоставимым, хотя прямых замеров по кроне в доступных источниках меньше.

Таблица 1 – Сравнение подходов к оценке хвойной биомассы

Показатель	**Методы**		
	пробные площади	**аэрофото-съёмка**	**лидарная модель**
Доля охвата	1-5 % площади	вся площадь, визуально	вся площадь, по деревьям
Определение породы	полевое, точное	ограниченное	по форме кроны и спектру, 90-95 %
Биомасса кроны	ручной пересчёт, велика погрешность	не определяется	±5-10 % по модели
Трудозатраты	бригада, 2-4 недели	средние	автоматическая обработка
Частота обновления	раз в 5-10 лет	по факту съёмки	постоянно

Различие процесса заготовки хвои от заготовки древесины часто упускают. При заготовке пиломатериалов объект учёта – ствол, и цифровой аналог здесь работает «по инерции»: те же параметры, что и в классической таксации. При заготовке хвои акцент смещается на крону, и требования к модели меняются (табл. 2). Появляются специфические фильтры: нужно отделять хвойные от лиственных, отбраковывать деревья с повреждённой кроной как с механическими повреждениями, так и с кроной, подверженной различными болезнями, а также учитывать сезонный максимум полезных веществ (зима), соблюдать ограничения по объёму снятия кроны – обычно не более 20-30 %.

Таблица 2 – Параметры, критичные для заготовки хвои

Параметр	**Параметры**		
	как оценивается	**нужная точность**	**достижимая точность (лидар + ИИ)**
Порода	форма кроны, спектр	95 %	90-95 %
Объём кроны	3D-модель	±10 %	±5-8 %
Масса хвои	аллометрические уравнения	±15 %	±10-15 %
Состояние дерева	плотность кроны, спектр	отбраковка больных	обеспечивается
Координаты	геопривязка	±1 м	±0,1-0,5 м

Европейский проект SingleTree (14 партнёров из Норвегии, Швеции, Финляндии, Испании, Швейцарии) интересен сменой оптики: вместо управления

лесосекой – управление отдельным деревом. Шведская SCA Skog применяет высокоточное лазерное сканирование для планирования заготовки, а инструмент SCan позволяет выполнять значительную часть планировочной работы удалённо. Для селективной заготовки хвои в труднодоступных массивах это существенно [3, 6].

По оценкам разработчиков «ПармаСкан», затраты на учёт ресурсов и подготовку участков снижаются на 15-30 %. Полевой таксации становится меньше, необходимость в массе пробных площадей для оценки кроны отпадает, перепланирование при смене конъюнктуры выполняется быстрее. Отдельные исследования цепочек поставок лесной биомассы фиксируют рост энергетической эффективности в пиковые периоды до 29 % и до 8 % в среднем за год при снижении логистических затрат до 7 % [2]. Сводные ожидаемые эффекты приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Ожидаемые эффекты от внедрения цифрового аналога

Направление	**Эффект**
Таксация хвойных массивов	снижение затрат на 15-30 %
Оценка биомассы кроны	рост точности на 10-15 %
Логистика	снижение издержек на 5-7 %
Энергоэффективность заготовки	8-29 % в зависимости от сезона
Хранение хвои	сокращение потерь около 5 %

Пермский ЦБК (330 тыс. т картона и бумаги в год) использует парк БПЛА с лидарами: система считает объём древесины, классифицирует деревья по породе, оценивает состояние крон, строит карты рельефа, уклонов и гидрографии [4, 5]. Группа «Илим» первой получила доступ к «ПармаСкан» (регистрация в Роспатенте – март 2025 г.); система объединяет спутниковые данные и съёмку с БПЛА, выдавая ортофотоплан с сегментацией по породам и ведомость поштучного учёта.

Программное обеспечение «ПармаСкан» обладает совместимостью с Федеральной государственной информационной системой лесного комплекса (ФГИС ЛК), при этом процедура выгрузки данных уже отработана [7]. Прикладное значение указанной интеграции состоит в расширении объекта учёта: наряду с древесиной в систему включаются недревесные ресурсы, в частности хвойная биомасса.

Вместе с тем механический перенос указанных решений при решении проблемы заготовку и получении высококачественной хвои недопустим, так как параметры, значимые для кроны и для ствола, совпадают лишь частично, а методика применительно к хвойной биомассе требует отдельной разработки. До завершения этой работы говорить о тиражируемом решении преждевременно.

Список литературы

1. Центр космических технологий и услуг: [сайт]. – Пермь, 2026 – Пермская ИТ-компания создает цифрового аналога леса. – URL: https://news-perm.ru/society/2026/09/07/40966.html (дата обращения: 17.09.2026).

2. Laitila J. Cost analysis of transporting forest chips and forest industry by-products with large truck-trailers in Finland / J. Laitila, A. Asikainen, T. Ranta // Biomass and Bioenergy. – 2016. – Vol. 90. – pp. 252–261. – DOI: 10.1016/j.biombioe.2016.04.011.

3. Производители машин, оборудования и IT-решений для ЛПК: [база данных, каталог] // Ассоциация «ЛЕСТЕХ»: официальный сайт. – URL: alestech.ru (дата обращения: 17.09.2026).

4. Группа «Илим» внедряет отечественное ПО [сайт] // Лесной комплекс. – 2025. – 25 апреля. – URL: https://forestcomplex.ru/digital-environment/gruppa-eeleem-vnyedryayet-otyechyestvyennoye-po/ (дата обращения: 17.09.2026).

5. ПЦБК внедрила технологию «цифрового аналога леса»: [сайт] // Lesprom. – 2025. – 9 октября. – URL: https://www.lesprom.com/ru/news/ПЦБК_внедрила_технологию_цифрового_двойника_леса_120812/ (дата обращения: 17.09.2026).

6. SingleTree: SCA initiates a new operation on digital forestry: [сайт] // Wood & Panel Europe. – 2025. – 16 сентября. – URL: https://www.woodandpanel.it/woodnews/articolo/singletree-sca-initiates-a-new-operation-on-digital-forestry/ (дата обращения: 17.09.2026).

7. Минсвязи Пермского края сообщило о начале эксплуатации ИИ-системы для инвентаризации лесов: [сайт] // Digital Russia. – 2025. – 23 апреля. – URL: https://d-russia.ru/minsvjazi-permskogo-kraja-soobshhilo-o-nachale-jekspluatacii-ii-sistemy-dlja-inventarizacii-lesov.html (дата обращения: 17.09.2026).

8. Hoppen M. Digital technologies for precise carbon balancing in timber procurement / M. Hoppen, S. Baier, L. Schinke [et al.] // European Journal of Forest Research. – 2025. – URL: springer.com (дата обращения: 17.09.2026). – DOI: 10.1007/s10342-025-01794-1.

References

1. Space Technologies and Services Center: [website]. – Perm, 2026 – A Perm-based IT company is creating a digital analogue of a forest. – URL: https://news-perm.ru/society/2026/09/07/40966.html (accessed: 17.09.2026).

2. Laitila J. Cost analysis of transporting forest chips and forest industry by-products with large truck-trailers in Finland / J. Laitila, A. Asikainen, T. Ranta // Biomass and Bioenergy. – 2016. – Vol. 90. – pp. 252-261. – DOI: 10.1016/j.biombioe.2016.04.011.

3. Manufacturers of machinery, equipment and IT solutions for agricultural machinery : [database, catalog] // «LESTECH» Association : official website. – URL: alestech.ru (accessed: 17.09.2026).

4. The Ilim Group is implementing domestic software [website] // Lesnoy Kompleks. – 2025. – April 25. – URL: https://forestcomplex.ru/digital-environment/ grup-

pa-eeleem-vnyedryayet-otyechyestvyennoye-po/ (accessed: 17.09.2026). – Text: electronic.

5. The PPCB has implemented the «digital forest analogue» technology: [website] // Lesprom. – 2025. – October 9. – URL: https://www.lesprom.com/ru/news/PPCB_has_implemented_the_technology_of_a_digital_forest_twin_120812/ (accessed: 17.09.2026).

6. SingleTree: SCA initiates a new operation on digital forestry: [website] // Wood & Panel Europe. – 2025. – September 16. – URL: https://www.woodandpanel.it/woodnews/articolo/singletree-sca-initiates-a-new-operation-on-digital-forestry/ (accessed: 17.09.2026).

7. The Ministry of Communications of the Perm Region announced the start of operation of an AI system for forest inventory: [website] // Digital Russia. – 2025. – April 23. – URL: https://d-russia.ru/minsvjazi-permskogo-kraja-soobshhilo-o-nachale-jekspluatacii-ii-sistemy-dlja-inventarizacii-lesov.html (accessed: 17.09.2026).

8. Hoppen M. Digital technologies for precise carbon balancing in timber procurement / M. Hoppen, S. Baier, L. Schinke [et al.] // European Journal of Forest Research. – 2025. – URL: springer.com (accessed: 17.09.2026). – DOI: 10.1007/s10342-025-01794-1.