

ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS. L.*) В ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОЙ СУБОРИ

П.А. Буц, С.М. Матвеев, Д.А. Литовченко, А.В. Малюхова

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, e-mail: yokoreyzichan@gmail.com

Аннотация. Анализ динамики радиального прироста сосны обыкновенной в ТЛУ В₃ показал наличие трех периодов депрессии за 140-летний период, среднюю синхронность прироста между отдельными деревьями и с гидротермическим коэффициентом (69%). Коэффициент корреляции с климатическими факторами за период роста очень мал – 0,22.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, радиальный прирост, суммы осадков, ГТК

DYNAMICS OF RADIAL INCREAMENT OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS. L.*) ON WET, MEDIUM-FERTILE SOILS

P.A. Butz, S.M. Matveev, D.A. Litovchenko, A.V. Malukhova

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, e-mail: yokoreyzichan@gmail.com

Abstract. Analysis of the dynamics of radial increament of Scots pine on wet, medium-fertile soils showed the presence of three periods of depression over a 140-year period, average synchronicity of increament between individual trees and with the hydrothermal coefficient (69%). The correlation coefficient with climatic factors during the growth period is very small – 0.22.

Keywords: Scots pine, radial increament, precipitation amounts, hydrothermal coefficient

Введение

Целью данного исследования является анализ динамики радиального прироста и реакции на динамику ключевых факторов климата (сумма атмосферных осадков и гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК)) радиального прироста деревьев сосны обыкновенной в естественном древостое Усманского бора (Воронежская область, тип лесорастительных условий (ТЛУ) В₃). Исследования проводятся в рамках проекта РНФ с целью сохранения биоразнообразия и адаптационной способности к изменяющемуся климату сосновых древостоев Центральной лесостепи.

Объекты и методы исследования

Пробная площадь заложена в квартале 65, выделе 5 Левобережного участкового лесничества Пригородного лесничества в сосновом насаждении естественного происхождения с участием дуба. Средний возраст древостоя – 130 лет. Максимальный условный возраст (по кернам древесины) – 141 год. Бонитет II-й. Размер ПП составляет 0,25 га (50 × 50 м). Подлесок средней густоты представлен малиной обыкновенной, рябиной обыкновенной. Подрост состоит из клена остролистного, сосны обыкновенной.

Тип леса по схеме лесорастительных условий и типов леса Воронежской области – сосняк молиниевый (Смлн). Однако, злак молиния голубая практически не встречается в настоящее время в Усманском бору. В напочвенном покрове преобладают вербейник монетчатый, орляк обыкновенный, кукушкин лен, зеленый мох, грушанка клуглолистная. Соответственно, эдификатором в названии типа леса следует считать другой вид напочвенного покрова, например – зелёный мох или грушанку круглолистную или др.

Керны древесины отобраны на высоте 1,0 м при помощи возрастного бурава Пресслера с восточной стороны дерева. Отобранные образцы обработаны и датированы. С использованием установки LINTAB-6 и пакета программ TSAP-Win [1] проведены измерения ранней, поздней и общей древесины кернов сосны обыкновенной, а также статистический анализ данных измерений.

Расчет относительных индексов радиального прироста для исключения возрастного тренда выполнен в программе «TREND» [2]. Сглаживание проведено методом скользящих средних с дополнительным сглаживанием скользящей кривой полиномом 3-й степени.

В пакете программ TSAP-Win (версия профессиональная) [1] рассчитаны статистические коэффициенты, характеризующие сходство индивидуальных хронологий ширины годовых колец с осредненной хронологией по всем образцам в исследуемом древостое: коэффициент синхронности (GLK), уровень синхронности (GSL), коэффициент корреляции (CC), а также интегральный показатель – индекс перекрестного датирования индивидуальных хронологий со средней (CDI).

Коэффициент синхронности (GLK) оценивает в процентах отношение количества однонаправленных изменений прироста между календарными годами для двух хронологий к общему числу лет. Значение коэффициента синхронности (GLK) меньше 67 % означает низкую синхронность индивидуальных рядов со средним, т.е. значительные индивидуальные особенности и различия динамики прироста исследуемых образцов. Высокие значения коэффициента синхронности (79-100 %) означают наличие сильного климатического сигнала в исследуемом древостое.

Уровень синхронности (GSL) ниже 56% означает отсутствие синхронности, синхронность от 57 до 60% помечается одной звездочкой (*), от 61 до 64% – двумя, более 68% – тремя звездочками.

Коэффициент корреляции Пирсона (CC) измеряет степень линейных связей между переменными (индивидуальными хронологиями радиального прироста отдельных деревьев и осреднённой хронологией).

Данные о динамике ключевых климатических параметров (сумм атмосферных осадков и температур воздуха) взяты по метеостанции № 34123 «Воронеж» (51°42'55" с.ш., 39°12'57"

в.д.) [3], по этим же данным нами рассчитан гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова за период май-сентябрь (ГТК) [4]. Также нами рассчитаны коэффициенты корреляции осреднённых значений радиального прироста деревьев в обследованном древостое с суммами атмосферных осадков за тёплый период (апрель-сентябрь) и ГТК.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ графика средних значений ширины годовых колец сосны обыкновенной в абсолютных величинах (мм), показал наличие хорошо выраженного возрастного тренда. Древостои сосны произрастающие в ТЛУ В₃ отличаются дифференцированной и значительно менее чёткой реакцией на лимитирующие факторы климата (в первую очередь – суммы атмосферных осадков), чем в ТЛУ В₂. Однако и здесь в динамике прироста прослеживаются «реперные» годы, соответствующие благоприятным климатическим условиям и засушливым. Хорошо видны (узкие годовые кольца) засухи 1946 и 1936 годов. Засуха 1946 года наблюдается у 80% отобранных образцов, засуха 1936 года – у 64% образцов. У 92% образцов отмечены широкие годовые кольца 1990 г. и 2004 г. Самые узкие годовые кольца (ширина 0,5 мм) сформировались в 2012 и 2013 гг., как следствие засухи 2010 года. Максимум осреднённого радиального прироста наблюдался в 1907 и 1913 годах и составил 4,9 мм.

Статистический анализ данных измерений ширины годовых колец в обследованном древостое показал следующие результаты.

Значения коэффициента синхронности (GLK) распределены нами по шкале С.Г. Шиятова [5]. Менее 67% (низкая синхронность) показал лишь один образец. Большая часть образцов показывает среднюю синхронность 68-78%. Три образца имеют высокую синхронность 79-89%. Данные свидетельствуют об отсутствии сильного климатического сигнала в исследуемом древостое. По уровню синхронности (GSL) – все образцы имеют три звездочки (*), что означает более 68% синхронности.

CDI – индекс перекрестного датирования индивидуальных хронологий со средней. Здесь результат не столь однозначен. Семь образцов имеют значения от 40 до 60, девять – от 61 до 80, шесть от 81 до 100, у двух образцов, индексы превышают значение 101.

Результаты расчёта коэффициента корреляции (CC) индивидуальных хронологий ширины годовых колец с осредненной хронологией по всем образцам в исследуемом древостое распределены по шкале Чеддока и данные представлены в таблице.

Таблица. Распределение по тесноте связи индивидуальных хронологий образцов с осредненной хронологией

Теснота связи	Значения коэфф. корреляции Пирсона	Кол-во образцов
Слабая	0,1-0,3	-
Умеренная	0,3-0,5	1
Заметная	0,5-0,7	3
Высокая	0,7-0,9	10
Весьма высокая	0,9-0,99	10

Как видно из таблицы, большинство образцов показали высокую корреляцию с осреднённой хронологией (0,7-0,99), но при этом проявились две группы деревьев с более высокой и менее высокой теснотой связи. Имеется третья группа деревьев (4 дерева) значительно отличающихся индивидуальной реакцией на внешние условия (в первую очередь – воздействие лимитирующих климатических факторов).

Анализ графика динамики осреднённых значений прироста изученного древостоя в абсолютных единицах (мм) выявил выраженный возрастной тренд. Амплитуда колебаний в абсолютных единицах снижается с возрастом, однако, в относительных индексах наоборот, наблюдается резкое увеличение амплитуды с середины 1970-х гг по н.в. Отмечены три периода депрессии прироста за 140-летний период. В целом колебания значений ширины годичных колец довольно равномерные, хорошо выражены циклы разных порядков.

Коэффициент корреляции индексов радиального прироста обследованного древостоя с суммами атмосферных осадков тёплого периода (апрель-сентябрь) составил 0,22 для всего исследуемого периода (1884-2022 гг). Для периода с 1884 по 1953 гг. – 0,27. Для периода с 1954 по 2022 год – 0,17. Коэффициент корреляции снижается во второй половине жизни дерева. В соответствии со шкалой Чеддока, теснота прямой связи характеризуется как слабая.

Нами построен и проанализирован совмещённый график динамики индексов прироста обследованного древостоя и ГТК. Как для индексов прироста, так и для ГТК проведены линии тренда (рисунок). Отметим, что обе линии тренда показывают небольшой рост.

Коэффициент синхронности (доля однонаправленных интервалов изменения индексов прироста и ГТК) в сопоставляемой паре рядов показывает среднюю синхронность – 69%,

Диапазон амплитуды колебаний относительных индексов прироста составил от 51% до 197%. Диапазон амплитуды колебаний ГТК – от 0,42 до 2,24. Амплитуда и частота значений относительных индексов с середины 1980-х гг. принимает более хаотичный характер, наблюдается увеличение амплитуды. Колебания значений ГТК с конца 1980-х также становятся более нестабильны. В целом у обоих графиков амплитуда изменяется по-разному. Когда возрастает амплитуда колебаний у ГТК, наблюдается депрессия прироста в течение ряда лет. Данная тенденция наблюдается в периоды резких скачков ГТК как минимум трижды. Это может говорить о том, что древостой реагирует уменьшением прироста при резких изменениях внешних климатических факторов.

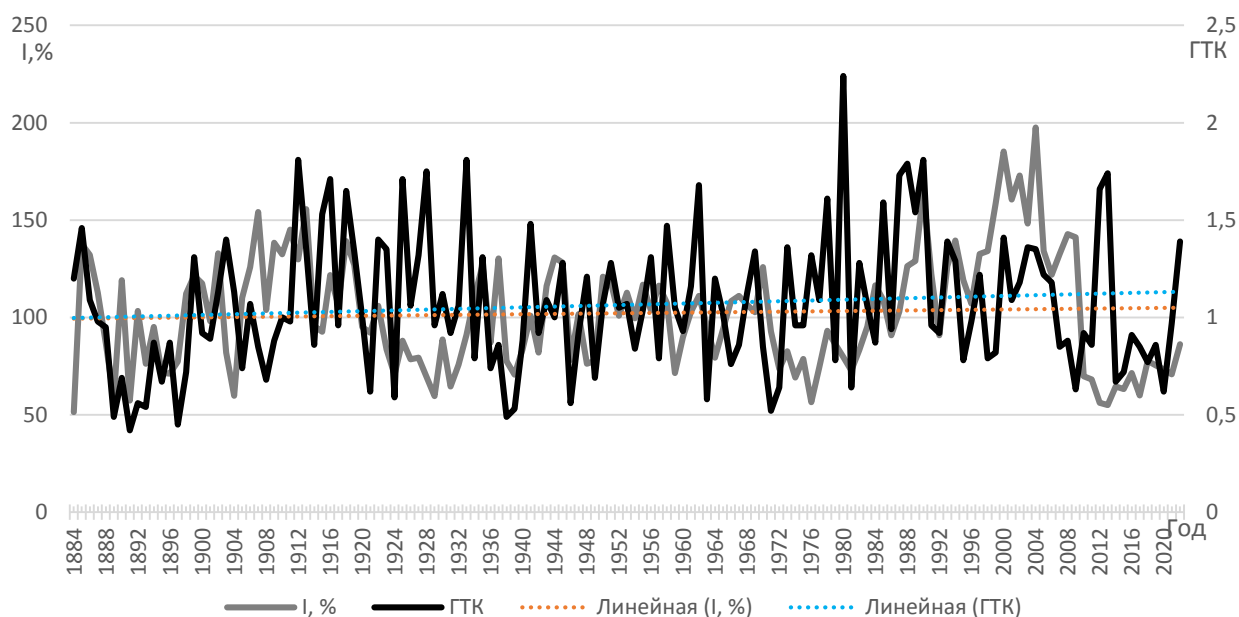


Рисунок. Динамика относительных индексов ширины годичных колец и ГТК

Так как гидротермический коэффициент является комплексным показателем и отражает изменения сумм атмосферных осадков и сумм среднесуточных температур теплого периода, вероятно резкие его изменения могут приводить к стрессу у многих деревьев. Наиболее ярко, во время увелечения и пика показателей ГТК в период с 2010 по 2019 год у многих деревьев наблюдается депрессия и маленький прирост.

Коэффициент корреляции индексов радиального прироста обследованного древостоя с ГТК составил 0,22 для всего исследуемого периода (1884-2022 гг). Для периода с 1884 по 1953 гг. – 0,30. Для периода с 1954 по 2022 год – 0,16. В соответствии со шкалой Чеддока, теснота прямой связи характеризуется как слабая.

Следует отметить, что рассчитанные нами ранее коэффициенты корреляции индексов прироста в ТЛУ В₂ с ГТК составили соответственно: 0,29 за весь период жизни деревьев (с 1880 по 2022 гг.), а за 30-летний период с 1961 по 1990 гг. достигли 0,59, значительно снизившись в последнем 30-лети (1991-2020 гг.).

Заключение.

Низкая корреляционная связь динамики радиального прироста сосны в ТЛУ В₃ за весь период роста (1884-2022 гг.) с суммами атмосферных осадков и ГТК (0,22) характеризует слабый отклик деревьев на воздействие лимитирующих факторов климата, в первую очередь – засух. Коэффициент корреляции снижается во второй половине жизни дерева (от 0,27/0,3 до 0,17/0,16). Причиной слабого отклика являются, очевидно, лесорастительные условия (более высокое чем в В₂ увлажнение почвы, неоднородные микроклиматические условия), но также, вероятно, и сформировавшееся в данном естественном древостое высокое внутривидовое разнообразие. Последнее подтверждается выявленными тремя группами деревьев показавших различную тесноту связи с осреднённой хронологией. Дальнейшее изучение внутривидовых особенностей деревьев в данном древостое может выявить устойчивые к изменениям климата экземпляры с высоким адаптационным потенциалом.

Список литературы

1. Rinn, F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation / F. Rinn. – Heidelberg, 1996 – 262 p.
2. Мироненко, А. В. Программа для обработки временных рядов методами скользящего среднего и математического моделирования / А. В. Мироненко, С. М. Матвеев, Д. А. Литовченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023615502, 15.03.2023. Заявка № 2023614622 от 15.03.2023. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50428361>
3. Погода и климат. Климат Воронежа, 2025. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34123>. Дата обращения: 20.04.2025.
4. Селянинов, Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата / Г. Т. Селянинов // В кн.: Мировой агроклиматический справочник. – Л. М., 1937. – 428 с.
5. Шиятов, С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С. Г. Шиятов. – М.: Наука, 1986. – 136 с.

References

1. Rinn, F. TSAP. Version 3.0. Reference manual. Computer program for time series analysis and presentation / F. Rinn. – Heidelberg, 1996 – 262 p.
2. Mironenko, A. V. Program for processing time series using moving average and mathematical modeling methods / A. V. Mironenko, S. M. Matveev, D. A. Litovchenko // Certificate of state registration of a computer program 2023615502, 15.03.2023. Bid № 2023614622 ot 15.03.2023. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50428361>
3. Weather and climate. Climate of Voronezh, 2025. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34123>. Date of access: 20.04.2025.
4. Selyaninov, G. T. Methodology of agricultural climate characteristics / G. T. Selyaninov // In the book: World agroclimatic reference book: L. M., 1937. – 428 p.
5. Shiyatov, S. G. Dendrochronology of the upper forest boundary in the Urals / S. G. Shiyatov. –M.: Nauka, 1986. – 136 p.

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».