



23. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V., Senkina S.N., Galenko Eh.P., Zagirova S.V. Ecological and physiological foundations of productivity of pine forests of the European northeast. Syktyvkar, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1993, 176 p. (In Russian).
24. Jones H.G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *J. Exp. Bot. (Spec. Issue)*, 1998, no. 49, pp. 387–398. DOI: 10.1093/jxb/49.
25. Kramer P.J., Boyer J.S. Water relations of plants and soils. San Diego, CA, USA, 1995, 495 p.
26. Varlagin A.V., Vygodskaya N.N., Kurbatova J.A. Influence of Extreme Soil Humidity Events on Transpiration, Evaporation and Carbon Balance of Boreal Forest in European Russia. *Climate Changes and Their Impact on Boreal and Temperate Forests (Ekaterinburg, June 5–7 2006): Abstracts*. Ekaterinburg, 2006, pp. 102–103.

Статья поступила в редакцию 17.11.2025

DOI: 10.21178/2079–6080.2026.1.53
УДК 630*181.2: 630*161.4

Влияние температуры и осадков за вегетационный сезон на прирост ранней древесины ели европейской (на примере Лисинской части учебно- опытного лесничества Ленинградской области)

© А.С. Алексеев, А. Юнес

The influence of temperature and precipitation during the growing season on the increment of early wood of Norway spruce (case study for Lisino part of the educational and experimental forest district of the Leningrad region)

A.S. Alekseev, A. Younes (Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov)

The article uses dendrochronology methods to study the effect of temperature and precipitation during the growing season on the growth of the early part of the annual tree rings of Norway spruce tree stands located on the lands of the forest fund of the Lisino part of the Educational and Experimental Forest District of the Leningrad region. The study was conducted on 5 test areas laid in stands of different age classes from young to mature and over-mature, where wood samples in the form of cores were taken from 20 trees in each test area. The width of the early part of the tree rings of the samples was measured using a LINTAB 6 workstation, and the measurement results were sent to the TSAP-Win™ application software package for further processing. The obtained dendrochronological series over a time interval of 50 years from 1974 to 2023 were studied for their ability to respond to a climate signal by calculating and analyzing sensitivity and synchronicity coefficients, as well as the signal-to-noise ratio SNR and the expressed population signal coefficient EPS. Statistical analysis of the dendrochronological series showed that they have a low level of sensitivity and synchronicity coefficients, while the EPS coefficient for 3 out of 5 sample areas was higher than the threshold value of 0.85, which indicates that the climate signal

is reliably present in these dendrochronological series. The relationship between the growth of spruce stands and temperatures and precipitation during the growing season was studied by multiple regression using the STATGRAPHICS 18-X64 application software package. Multiple regression analysis showed that the effect of precipitation during the growing season on the growth of spruce stands is not statistically significant. The influence of temperature changes during the growing season turned out to be significant and strong; the coefficients of determination depending on the age of the stands vary from 88.2 to 95.2 %. A linear dependence of the thermal coefficient on the age of the stands has been established, the highest value corresponds to young trees, the lowest to overmature stands. According to the data on the dynamics of the average temperature during the growing season, the warming in the studied area is 0.04 °C/year together with 0.107 mm/year as an average thermal coefficient these gives the expected value of the increase in the growth of the early part of the annual layers of European spruce 0.0043 mm/year, which will be difficult to reliably determine. Thus, the analysis established the reliable presence of a climatic signal in the dendrochronological series of the European spruce growth, which turned out to be insignificant in magnitude.

Keywords: Norway spruce, dendrochronological series, early part of the annual tree ring, growing season, temperature, precipitation, climatic signal, thermal coefficient

Влияние температуры и осадков за вегетационный сезон на прирост ранней древесины ели европейской (на примере Лисинской части учебно-опытного лесничества Ленинградской области)

А.С. Алексеев, А. Юнес

В статье изучалось влияние температуры и осадков за вегетационный сезон на прирост ранней древесины ели европейской. Исследование проводилось на 5 пробных площадях, заложенных в древостоях разных классов возраста — от молодняков, до спелых и перестойных, на которых были отобраны образцы древесины в виде кернов у 20 деревьев. Ширина ранней части годичных колец образцов измерялась с помощью рабочей станции LINTAB 6, результаты обрабатывались с помощью пакета прикладных программ TSAP-Win™. Полученные дендрохронологические ряды на интервале времени в 50 лет с 1974 по 2023 год изучались на способность реагировать на климатический сигнал путем расчетов и анализа коэффициентов чувствительности и синхронности, а так же отношения «сигнал-шум» SNR и коэффициента «выявленный сигнал популяции» EPS. Анализ дендрохронологических рядов показал, что они имеют низкий уровень коэффициентов чувствительности и синхронности, при этом коэффициент EPS для 3-х пробных площадей из 5 оказался выше порогового значения 0,85, что свидетельствует о том, что климатический сигнал достоверно присутствует в этих рядах. Связи прироста древостоев ели с температурами и осадками за вегетационный сезон изучались методом множественной регрессии. Регрессионный анализ показал, что влияние осадков за вегетационный сезон на прирост древостоев ели статистически не значимое. Влияние изменений температуры оказалось достоверным и сильным. Ожидаемое по данным о динамике средней температуры за вегетационный сезон потепление в изучаемом районе составляет величину 0,04 °C/год, что при средней величине термического коэффициента 0,107 мм/°C дает ожидаемую незначительную величину увеличения прироста ранней древесины ели европейской 0,0043 мм/год. Проведенный анализ установил достоверное наличие климатического сигнала в дендрохронологических рядах прироста ели европейской, который оказался небольшим по величине.

Ключевые слова: ель европейская, дендрохронологический ряд, ранняя древесина, вегетационный сезон, температура, осадки, климатический сигнал, термический коэффициент

Алексеев Александр Сергеевич — заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем, профессор, доктор географических наук

E-mail: a_s_alekseev@mail.ru; ORCID: 0000—0001—8795—2888; SPIN-код: 8115—9103

Юнес Али — аспирант кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем

E-mail: aliyounes147@gmail.com; ORCID: 0009—0009—0163—5511; SPIN-код: 5733—8810

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова»

194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, литера У

Телефон: +7 (812) 217—93—16

Введение

Исследование процессов роста деревьев и древостоев на основе образцов древесины в форме кернов имеет ряд существенных преимуществ перед другими возможными видами образцов древесины, отбираемых для аналогичных целей. Важнейшими из них являются неповреждающий характер извлечения кернов древесины из стволов живых деревьев, низкая трудоемкость, относительная простота, возможность датировать каждый годовой слой и возможность детального изучения кернов в лабораторных условиях с применением различных методов и приборов. Дополнительным преимуществом является высокая изменчивость прироста по диаметру по сравнению, например, с приростом по высоте или запасу в зависимости от действия как внутренних, так и внешних природных и антропогенных факторов [7, 23, 27, 48, 50, 54]. Кроме этого, при микроскопических и иных исследованиях кернов имеется возможность получить самую разнообразную информацию о росте деревьев и древостоев [10, 11, 12, 30, 40, 41, 44, 51]. Большой интерес имеет изучение роста и структуры годовичных слоев в связи с возможными изменениями климата, которые выражаются, прежде всего, в динамике температуры и количества осадков [5, 22, 25].

Изучению влияния гидрометеорологических факторов на радиальный прирост посвящено огромное число опубликованных научных работ. Более того, считается, что первой работой такого рода была публикация 1892 года Ф.Н. Шведова, посвященная анализу прироста деревьев акации белой в г. Одессе в зависимости от величины осадков [26, 32]. В связи с тем, что изменение климата в сторону потепления наиболее интенсивно происходит в высоких широтах, многие работы по выявлению климатического сигнала были выполнены на материалах, собранных в северных и горных районах на границах распространения лесов [1, 3, 4, 6, 13, 14, 17, 24, 31, 34, 36, 45, 52]. Представляют с этой точки зрения интерес дендрохронологические исследования ди-

намики радиального прироста в крайних лесорастительных условиях и при наличии экстремальных климатических явлений, прежде всего засух [2, 8, 9, 15, 16, 19, 28, 33, 42, 43, 46, 50, 53]. Не менее важно изучение влияния изменений климата на радиальный прирост деревьев и древостоев, произрастающих в неэкстремальных условиях [18, 20, 21, 29, 35]. На основе дендрохронологических данных возможно прогнозирование будущего роста деревьев и древостоев [38], причем даже с учетом прогнозов глобального потепления климата, разработанных международной группой экспертов по изменениям климата (IPCC) [49]. Для ускорения обработки материалов дендрохронологических исследований и достоверного выявления климатического сигнала активно разрабатываются специальные программные продукты и методы [37, 39, 47, 52, 56].

В настоящей статье изучена динамика радиального прироста древостоев ели европейской, произрастающих в практически оптимальных условиях Балтийско-Белозерского лесного района на территории Лисинской части Учебно-опытного лесничества Ленинградской области за период времени в 50 лет – с 1974 по 2023 год. Изучаемые древостои ели европейской расположены на территории лесного фонда с высоким уровнем защиты и относятся к лесам, имеющим научное и историческое значение. Кроме этого, они входят в состав ООПТ «Лисинский заказник», имеющий комплексный характер и региональное значение. Таким образом, на этой территории отсутствует какое-либо внешнее антропогенное воздействие на словые леса, что позволяет в наиболее чистом виде изучать воздействие природных, гидрометеорологических факторов на их прирост. Анализируемый интервал времени охватывает период, в который потепление климата отсутствовало, до последних лет, когда оно должно было проявиться в полной мере.

Целью работы было выявить климатический сигнал в приросте ранней части годич-

ных слоев древостоев разных классов возраста – от молодняков, до спелых и перестойных – на фоне имеющихся локальных изменений температуры и осадков за вегетационный период.

Объекты и методика исследований

Исследования проводились в 2024 году на 5 пробных площадях размером 50×50 метров, заложенных по программе РИТМ углерода в древостоях с преобладанием ели европейской в наиболее распространенном в Учебно-

опытном лесничестве типе леса – ельник черничник. Пробные площади закладывались таким образом, чтобы на них были представлены древостои основных групп возраста, от молодняков до перестойных.

Образцы древесины для дендрохронологического анализа в виде кернов отбирались с помощью бурава Пресслера на высоте 1,3 метра у 20 модельных деревьев на каждой из 5 пробных площадей с одинаковой ориентацией по странам света. Таксационные характеристики древостоев приведены в таблице 1.

Таблица 1
Таксационные характеристики пробных площадей, заложенных в древостоях ели европейской

Номер ПП	Средние значения			Сумма площадей сечения, м ²	Количество деревьев, шт./га	Запас, м ³ /га	
	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см			Растущего леса	Сухостоя
3	39	13,2	11,8	26,9	2448	173,9	0,02
7	77	25,0	22,6	27,0	672	328,9	28,3
10	68	23,6	19,5	32,3	1084	401,8	31,0
14	105	24,3	26,5	25,3	460	349,7	30,6
15	110	27,1	28,7	24,1	372	312,7	22,1

Из приведенных данных следует, что пробная площадь № 3 относится к молоднякам, № 7 и 10 – к средневозрастным насаждениям, № 14 и 15 – к спелым и перестойным.

По отобранным кернам на рабочей станции LINTAB 6 измерялась ширина ранней части годовых слоев, результаты поступали в пакет прикладных программ TSAP-Win™ для дальнейшей обработки.

Для характеристики полученных дендрохронологических рядов с точки зрения их способности реагировать на климатический сигнал рассчитывались индексы коэффициентов чувствительности и синхронности, а также отношения «сигнал-шум» *SNR* и коэффициента «выявленный сигнал популяции» *EPS* [56].

Коэффициент чувствительности равен относительной величине погодичной изменчивости прироста в дендрохронологическом ряду взятой по абсолютной величине:

$$K_c = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n-1} \left[\frac{2(x_{i+1}-x_i)}{x_{i+1}+x_i} \right] \quad (1)$$

где x_i – величина прироста в календарный год i мм;

x_{i+1} – величина прироста в календарный год $i+1$, мм;

n – длительность ряда, годы; $n = 50$ лет.

Принято считать, что чем выше коэффициент чувствительности, тем более сильный климатический сигнал содержится в изучаемом дендрохронологическом ряду, ряд считается чувствительным, когда его коэффициент чувствительности равен или больше 0,3 [13].

Для оценки того, насколько одинаково происходят изменения прироста в 2-х сравниваемых дендрохронологических рядах, рассчитывается коэффициент синхронности:

$$K_c = \frac{N}{n} * 100\% \quad (2)$$

где N – число случаев совпадения направления изменений приростов двух дендрохронологий;

n – длительность ряда, годы; $n = 50$ лет.

Существует шкала для оценок величины коэффициента синхронности, в которой выделяются 5 градаций: отсутствие синхронности – 45–56 %, низкая – 57–67 %, средняя – 68–78 %, высокая – 79–89 % и очень высокая – 90–100 % [33]. Таким образом, при наличии в рассматриваемых двух рядах направленных (а не случайных) изменений, обусловленных действием общих для них факторов, значение Kc будет превышать 70 %-ный порог. Значения Kc , равные 90 % и выше, свидетельствуют об очень высокой синхронности между рассматриваемыми рядами.

Отношение «сигнал-шум» SNR представляет собой статистический показатель, который оценивает силу общего (климатического) сигнала в группе деревьев по сравнению со случайной изменчивостью (шумом), вызванной индивидуальными особенностями их роста или какими-либо локальными факторами:

$$SNR = \frac{n \cdot \bar{r}}{1 - \bar{r}} \quad (3)$$

где n – количество деревьев в дендрохронологическом ряду;

r – средний коэффициент корреляции приростов деревьев, составляющих дендрохронологический ряд.

Отношение SNR показывает, насколько хорошо древесно-кольцевая хронология отражает воздействие внешних факторов (например, температуры или осадков), общих для всего древостоя, отношение напрямую зависит от количества образцов (деревьев) в хронологии и средней корреляции приростов между ними. Чем больше деревьев в выборке и чем выше корреляция между ними, тем выше значение отношения SNR , поэтому величина отношения не имеет верхнего предела, отношение $SNR > 10$ –15 уже считается высоким.

Коэффициент «выявленный сигнал популяции» EPS представляет собой нормированное значение коэффициента SNR :

$$EPS = \frac{SNR}{SNR+1} \quad (4)$$

Таким образом, коэффициент EPS математически напрямую связан с отношением «сигнал-шум» SNR и показывает, насколько средняя хронология, построенная по ограниченному числу деревьев, приближается к теоретической «идеальной» хронологии всей популяции.

Значение EPS варьируется от 0 до 1. В дендрохронологии общепринятым (хотя и условным) порогом считается $EPS \geq 0,85$. Это означает, что 85 % изменчивости в выборке обусловлено общим сигналом, и такая хронология пригодна для выявления климатического сигнала.

Данные о динамике температуры и осадков за вегетационный сезон для объектов исследований изучались на предмет наличия и достоверности трендов и, кроме этого, проверялись на случайность имеющихся изменений. Для проверки рядов гидрометеорологических показателей на случайность применялся медианный тест. Критерий случайности временного ряда, основанный на его медиане, проверяется следующим образом:

1. Временной ряд упорядочивается по возрастанию $x_1 > x_2 > \dots > x_N$.

2. Определяется медиана:

в случае нечетного числа членов ряда медиана равна:

$$x_{med} = \frac{x_{N+1}}{2} \quad (5)$$

в случае четного числа членов ряда медиана равна:

$$x_{med} = \frac{1}{2}(x_{\frac{N}{2}} + x_{\frac{N}{2}+1}) \quad (6)$$

3. Сравнивая члены исходного ряда с медианой, строится ряд u_t по следующему правилу:

$$u_t = \begin{cases} +, & \text{если } x_t > x_{med}, \\ 0, & \text{если } x_t = x_{med}, \\ -, & \text{если } x_t < x_{med}. \end{cases} \quad (7)$$

Далее в этой последовательности нули не учитываются.

4. Вычисляется статистика для теста (тестовая статистика):

$$Z = \frac{R - \bar{R}}{S_R} \quad (8)$$

где \bar{R} – ожидаемое число положительных (отрицательных) членов в ряду y_i ;

R – фактическое число положительных (отрицательных) членов в ряду y_i ;

S_R – стандартное отклонение числа положительных (отрицательных) членов в ряду y_i ;

$$\bar{R} = \frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2} + 1 \quad (9)$$

$$S_R^2 = \frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2 (2 \cdot n_1 \cdot n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2 \cdot (n_1 + n_2 - 1)} \quad (10)$$

где n_1 – число случаев превышения членами анализируемого ряда медианного значения;

n_2 – число случаев, когда член ряда ниже медианного значения.

5. Проверка на случайность. Если выполняется следующее неравенство, то ряд случайный:

$$|Z| < Z_{1-\alpha/2}; \quad (11)$$

При уровне значимости 5 % и $n_1 > n_2$, $n_1 > 10$, $n_2 > 10$, $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$.

Медианный тест для анализируемых временных рядов температур и осадков прове-

рялся с помощью пакета прикладных программ STATGRAPHICS 18-X64.

Изучение связей прироста ранней части годового слоя, температуры и осадков за вегетационный сезон осуществлялось методами множественного регрессионного анализа с помощью того же пакета прикладных программ.

Результаты и их обсуждение

Прежде всего, было проведено изучение прямого климатического сигнала, как он представлен температурой и осадками за вегетационный сезон в течение рассматриваемого периода времени в 50 лет – с 1974 по 2023 год. Динамика температуры и осадков для региона исследований представлена на рисунках 1 и 2, где также приведены характеристики линейного тренда для обоих показателей. Для временного ряда осадков линейный тренд полностью отсутствует ($R^2 = 0,0056$), то есть можно сделать заключение о том, что колебания осадков за изучаемый период времени имеют случайный характер. Для временного ряда температур линейный тренд присутствует ($R^2 = 0,2767$), однако является недостоверным, так как объясняет только 27,7 % изменчивости температур.

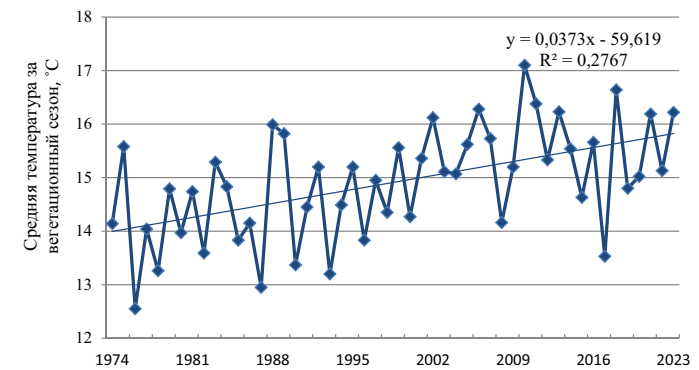


Рис. 1. Изменения средней температуры за вегетационный сезон в районе исследований в течение периода времени с 1974 по 2023 год

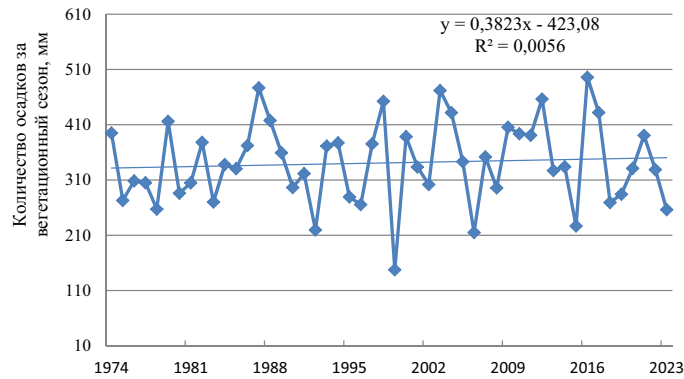


Рис. 2. Изменения количества осадков за вегетационный сезон в районе исследований в течение периода времени с 1974 по 2023 год

По данным рисунка 1 видно, что в начальные годы изучаемого периода: с 70-х по середину 90-х годов увеличения средней температуры за вегетационный сезон не было, видимая тенденция на увеличение температур началась только с 1995 года и продолжалась до 2010 года, затем был период падения с 2010 по 2018 годы. Таким образом, динамика температур за изучаемый период времени была неоднозначной. В связи с этим временной ряд температур за вегетационный сезон был проверен на «случайность» с помощью медианного теста, который подтвердил случайный характер имеющихся изменений. Количе-

ственно величина прямого климатического сигнала оценена по значению регрессионного коэффициента трендовой линии и равна 0,04 °C/год (см. рис. 1), что позволяет сделать вывод о том, что в районе исследований прямой климатический сигнал в настоящее время выражен даже более слабо, чем это было установлено ранее – 0,06 °C/год [35].

Синхронность изменений приростов ранней части годовых слоев в дендрохронологических рядах для древостоев ели разного возраста оценивалась с помощью соответствующего коэффициента, значения которого приведены в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициенты чувствительности дендрохронологических рядов древостоев ели разного возраста

Пробная площадь	Номер пробной площади				
	3	7	10	14	15
3	100	45,1	56,9	56,9	45,1
7	-	100	42,6	48,1	55,6
10	-	-	100	61,1	44,4
14	-	-	-	100	48,1
15	-	-	-	-	100

Приведенные в таблице данные говорят о том, что синхронность изменений приростов ранней части годовых слоев древостоев ели по шкале С.Г. Шиятова либо отсутствует, либо низкая. Этот факт свидетельствует о том, что древостой ели разного возраста неодинаково реагируют на слабый прямой климатический сигнал.

Величина климатического сигнала в ежегодном приросте ранней древесины оценивалась с помощью коэффициента чувствительности K_q , отношения «сигнал-шум» SNR и коэффициента «выявленный сигнал популяции» EPS , величины которых приведены в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициент чувствительности K_q , отношение «сигнал-шум» SNR и коэффициент «выявленный сигнал популяции» EPS дендрохронологических рядов древостоев ели разного возраста

Номер пробной площади	Показатель		
	EPS	SNR	K_q
3	0,97	30	0,10
7	0,70	2,0	0,05
10	0,85	5,7	0,05
14	0,92	11,1	0,08
15	0,58	1,5	0,06

Приведенные данные показывают, что коэффициент чувствительности имеет низкие значения ($< 0,3$), отношение «сигнал-шум» SNR для 3-х пробных площадей (№ 7, 10 и 15) также ниже нормы (< 10). Однако нормированный коэффициент «выявленный сигнал популяции» EPS для 3-х пробных площадей (3, 10 и 14) из 5 оказался выше порогового значения 0,85, что свидетельствует о том, что слабый прямой климатический сигнал достоверно присутствует в этих дендрохронологических рядах.

На основе дендрохронологических рядов изучались связи прироста ранней древесины древостоев ели с температурами и осадками за вегетационный сезон методом множественной регрессии с применением пакета прикладных программ STATGRAPHICS 18.0.

Множественный регрессионный анализ показал, что влияние осадков за вегетационный сезон на прирост древостоев ели статистически незначимое, что имеет естественное объяснение в расположении объектов исследова-

ния в зоне избыточного увлажнения, где осадки не являются лимитирующим фактором; подобные результаты были получены и ранее [35]. Эффект изменений температуры за вегетационный сезон оказался очень сильным. Для оценки этого воздействия рассчитывался коэффициент термического влияния на прирост древостоев ели с помощью простого регрессионного анализа по формуле:

$$y = a \cdot x, \tag{12}$$

где y – прирост, мм;

a – коэффициент термического (теплового) влияния, мм/°C;

x – средняя температура за вегетационный сезон, °C.

Коэффициент термического воздействия средней температуры за вегетационный сезон на прирост древостоев ели европейской показывает, на сколько миллиметров увеличится прирост при возрастании средней температуры на 1 °C.

Результаты расчетов термического коэффициента приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчетов термического (теплого) коэффициента влияния средней температуры за вегетационный сезон на прирост ранней части годового слоя древостоев ели европейской

Номер пробной площади	a – коэффициент термического влияния, мм/°С	Коэффициент детерминации $R^2, \%$	Возраст древостоев, лет
3	0,132	95,1	39
7	0,123	95,2	77
10	0,107	93,6	68
14	0,098	88,2	105
15	0,076	94,6	110

Приведенные данные свидетельствуют о сильной прямой зависимости прироста ранней древесины древостоев ели европейской от величины средней температуры за вегетационный сезон, коэффициенты детерминации варьируют в зависимости от возраста древостоев от 88,2 до 95,2 %. Таким образом, потепление климата будет иметь положительное влияние на рост древостоев ели европейской. Кроме этого, имеет место тенденция снижения величины коэффициента термического влияния на прирост с увеличением возраста древостоев ели европейской. Наибольшую положительную реакцию на увеличение средней температуры вегетационного сезона демонстрируют более молодые древостои, например, у 40-летних еловых молодняков коэффициент термического влияния потепления климата на прирост больше чем у 110-летних перестойных древостоев в 1,7 раза.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что для условий Лисинской части Учебно-опытного лесничества Ленинградской области прямой климатический сигнал (потепление) выражен слабо. Имеющаяся место тенденция к увеличению средней температуры за вегетационный сезон (линейный тренд за период с 1974 по 2023 год с коэффициентом детерминации 27,7 %) является недостоверной. Проверка временного ряда температуры за указанный период с помощью ме-

дианного теста на случайный характер имеющих изменений дала положительный результат.

Тем не менее, было установлено, что этот слабый прямой климатический сигнал статистически достоверно выявляется в приросте ранней части годовых слоев в дендрохронологических рядах древостоев ели разного возраста. Коэффициент термического (теплого) влияния средней температуры за вегетационный сезон на прирост ранней древесины имеет небольшую величину от 0,076 мм/°С у перестойных древостоев до 0,132 мм/°С у молодняков (среднее значение 0,107 мм/°С), но высокую достоверность. Если принять, что ожидаемое по данным о динамике средней температуры за вегетационный сезон потепление в изучаемом районе составляет 0,04 °С/год, и термический коэффициент, равным среднему значению – 0,107 мм/°С, то мы получим ожидаемую величину увеличения прироста ранней древесины ели европейской, равной 0,0043 мм/год, которую будет сложно достоверно определить.

Если процесс повышения средней температуры вегетационного сезона будет продолжаться, то можно будет с большой вероятностью ожидать увеличения приростов древостоев ели сначала у молодняков, затем у разновозрастных, приспевающих и в последнюю очередь – у спелых и перестойных древостоев.

Таким образом, проведенный анализ установил достоверное наличие климатиче-

ского сигнала в дендрохронологических рядах прироста ранней древесины древостоев ели европейской, который оказался незначительным по величине, отсюда следует необходимость продолжения исследований в данном направлении.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государ-

ственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулово углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031–6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Алексеев, А.С. Анализ долговременных тенденций роста *Pinus sylvestris* на северо-западе Кольского полуострова / А.С. Алексеев, А.Р. Сорока // Ботанический журнал. – 2003. – Т. 88, № 6. – С. 59–75.
- Аминев, П.С. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в условиях лесостепной зоны / П.С. Аминев, И.Р. Вильданов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2 (100). – С. 45–50.
- Баринов, В.В. Климатический сигнал в ширине годичных колец хвойных деревьев на верхней границе леса в горах Алтая / В.В. Баринов, В.С. Мыглан // География и природные ресурсы. – 2022. – Т. 43, № 1. – С. 112–120.
- Беляев, Ю.С. Динамика радиального прироста лиственницы сибирской в условиях изменяющегося климата Севера / Ю.С. Беляев, А.В. Иванова // Арктика и Антарктика. – 2021. – № 3. – С. 28–41.
- Битвинкас, Т.Т. Дендроклиматические исследования. – Л.: Гидрометеониздат, 1974. – 172 с.
- Гавриков, В.Л. Реакция радиального прироста древесных растений на потепление климата в субальпийском поясе Саян / В.Л. Гавриков, В.Г. Шисляков // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 1. – С. 15–25.
- Демаков, Ю.П. Возможности дендрохронологии в индикации и прогнозе течения природных и антропогенно обусловленных процессов / Ю.П. Демаков // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды. – М.: МГУЛ, 2001. – С. 257–263.
- Демаков, Ю.П. Закономерности радиального прироста деревьев сосны в приозерных биотопах национального парка «Марий Чодра» / Ю.П. Демаков, Н.В. Андреев // Эко-потенциал. – 2014. – № 3 (7). – С. 48–58.
- Демаков, Ю.П. Особенности радиального прироста деревьев в климаксовых сосняках сфагновых Марийского Полесья / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, Д.В. Тишин // Дендрэкология и лесоведение: Материалы Всерос. конф., Красноярск: ИЛ СО РАН, 2007. – С. 40–42.
- Ваганов, Е.А. Погодные условия и структура годичного кольца: имитационная модель трахендиограммы / Е.А. Ваганов, И.В. Свидерская, Е.Н. Кондратьева // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 37–45.
- Ваганов, Е.А. Влияние климатических факторов на прирост и плотность древесины годичных колец ели и сосны в горах Северной Италии / Е.А. Ваганов, М.В. Скомаркова, Э.-Д. Шульце, П. Линке // Лесоведение. – 2007. – № 2. – С. 37–44.
- Ваганов, Е.А. Дендроклиматические и дендрэкологические исследования в Северной Евразии / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов // Лесоведение. – 2005. – № 4. – С. 18–27.
- Ваганов, Е.А. Дендрохронологические методы в изучении истории климата Сибири / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. – Новосибирск: Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН, 1998. – С. 56–64.
- Ваганов, Е.А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, С.В. Мазепа. – Новосибирск: Наука, 1996. – 248 с.

15. Глебов, Ф.З. Динамика ширины годичных колец в связи с метеорологическими показателями в различных типах болотных лесов / Ф.З. Глебов, В.И. Литвиненко // Лесоведение. – 1976. – № 4. – С. 56–62.
16. Глебов, Ф.З. Рост деревьев некоторых типов болотных лесов Томского стационара в связи с гидротермическими условиями / Ф.З. Глебов, А.И. Погодина // Дендроклиматохронология и радиоуглерод. – Каунас : Изд-во Ин-та ботаники АН ЛитССР. – 1972. – С. 120–126.
17. Возмищева, А.С. Изменение климатической чувствительности основных хвойных видов Среднего Сихотэ-Алиня / А.С. Возмищева, О.Н. Успенская, В.Г. Каплин [и др.] // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 1. – С. 45–58.
18. Кузнецова, Г.В. Дендрохронологический анализ радиального прироста кедра сибирского в условиях глобального потепления / Г.В. Кузнецова, М.А. Гурская // Экология. – 2023. – № 4. – С. 267–275.
19. Лисецкий, Ф.Н. Анализ динамики радиального прироста *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmbое на разных участках профиля склона / Ф.Н. Лисецкий, С.В. Калугина, М.А. Польшина // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 1. – С. 59–67. – DOI: <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-59-67>.
20. Матвеев, С.М. Климатический сигнал в радиальном приросте сосновых древостоев модальных типов леса Воронежской области / С.М. Матвеев // Лесхоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2017. – № 1. – С. 99–108. – URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 10.03.2026).
21. Матвеев, С.М. Дендроклиматический анализ 200-летнего древостоя сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике / С.М. Матвеев, Д.А. Тимащук // Лесоведение. – 2019. – № 2. – С. 93–104.
22. Молчанов, А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды / А.А. Молчанов. – М. : Наука, 1976. – 168 с.
23. Молчанов, А.А. Методика изучения прироста древесных растений / А.А. Молчанов, В.В. Смирнов. – М. : Наука, 1967. – 100 с.
24. Петров, И.А. Воздействие изменений климата на радиальный прирост *Pinus sibirica* Du Roi в горных лесах Кузнецкого Алатау / И.А. Петров, А.С. Шушпанов, А.С. Голюков, В.И. Харук // Сибирский лесной журнал. – 2019. – № 5. – С. 43–53.
25. Рубцов, В.И. К вопросу о влиянии осадков и температуры воздуха на прирост сосны / В.И. Рубцов, А.М. Ильин // Научные записки Воронежского лесотехнического института. – 1956. – Т. 15. – С. 57–62.
26. Румянцев, Д.Е. История и методология дендрохронологии : учебное пособие для вузов / Д.Е. Румянцев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2022. – 175 с.
27. Румянцев, Д.Е., Дендрозоологическое исследование роста сосны в условиях Московской области / Д.Е. Румянцев, Н.С. Воробьева // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2024. – № 3. – С. 46–64. – DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-3-46-64>.
28. Тебенькова, Д.Н. Влияние экстремальных климатических событий на радиальный прирост дуба черешчатого в южной части лесной зоны / Д.Н. Тебенькова, Н.В. Ломакин // Лесоведение. – 2021. – № 5. – С. 483–495.
29. Тюкавина, О.Н. Изменчивость радиального прироста сосны в различных лесорастительных условиях / О.Н. Тюкавина, И.И. Клепикова // Хвойные бореальной зоны. – 2022. – Т. 40, № 6. – С. 510–517.
30. Фонти, М.В. Климатический сигнал в параметрах годичных колец (плотности древесины, анатомической структуре и изотопном составе) хвойных и лиственных видов деревьев в различных природно-климатических зонах Евразии : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.08 / Марина Викторовна Фонти. – Красноярск : СибФУ, 2020. – 45 с.
31. Шашкин, Е.А. Динамика прироста площадей сечения стволов у деревьев в разных районах Сибири в связи с глобальными изменениями температуры / А.В. Шашкин, Е.А. Ваганов // Лесоведение. – 2000. – № 3. – 11 с.

32. Шведов, Ф.Н. Дерево как летопись засух / Ф.Н. Шведов // Метеорологический вестник. – 1892. – № 5. – С. 163–178.
33. Шиятов, С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С.Г. Шиятов. – М. : Наука, 1986. – 136 с.
34. Шишов, В.В. Методы анализа дендроклиматических данных и их применение для территории Сибири : учебное пособие / В.В. Шишов, И.И. Тычков, М.И. Попкова / ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – Красноярск : Изд-во СФУ, 2015 – 210 с.
35. Alekseev, A.S. Long-term growth trends analysis of Norway spruce stands in relation to possible climate change: case study of Leningrad region / A.S. Alekseev, S.K. Sharma // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2020. – № 3. – С. 42–54. – DOI: [10.37482/0536-1036-2020-3-42-54](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-3-42-54).
36. Alekseev, A.S. Scots Pine Growth Trends in Northwestern Kola Peninsula as an Indicator of Positive Changes in the Carbon Cycle / A.S. Alekseev, A.R. Soroka // Climate change. – 2002. – Vol. 55, is. 1–2. – P. 183–196.
37. Altman, J. Advancing dendrochronology with R: an overview of packages and future perspectives / J. Altman, N. Altmanova, P. Fibich [et al.] // Frontiers in Ecology and Evolution. – 2025. – Vol. 13. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2025.1593675>. – URL: www.frontiersin.org (date of access: 04.02.2026).
38. Babst, F. When tree rings go global: Challenges and opportunities for retro- and prospective insight / P. Bodesheim, N. Charney, A. Friend [et al.] // Quaternary Science Reviews. – 2018. – Vol. 197 – P. 1–20. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.07.009>.
39. Bunn, A.G. dplR: Dendrochronology Program Library in R. Version 1.7.7 / A.G. Bunn, M. Korpela, F. Campelo [et al.]. – 2024. – URL: cran.r-project.org (дата обращения: 04.02.2026).
40. Carrer, M. Wood anatomy of Douglas-fir shows high plasticity but low adaptation to climate change / M. Carrer, S. Castagneri, R.P. Deslauriers // Journal of Ecology. – 2022. – Vol. 110, no. 8. – P. 1834–1846.
41. Churakova (Sidorova), J.V. Climate impacts on tree-ring stable isotopes across the Northern hemispheric Boreal zone // J.V. Churakova (Sidorova), M.S. Zharkov [et al.] // Science of the Total Environment. – 2023. – Vol. 870. – DOI: [10.1016/j.scitotenv.2023.161644](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161644).
42. Eggers, J. Longer growing seasons will not offset growth loss in drought-prone regions / J. Eggers, M. Lindner, M. Hanewinkel [et al.] // Nature Communications. – 2025. – Vol. 16, no. 10. – P. 452–468.
43. Farahat, E. Dendrochronological studies in North Africa: reality and prospects / E. Farahat, H. Gartner // Frontiers in Ecology and Evolution. – 2024. – Vol. 12. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1299472>.
44. Fritts, H.C. Tree Rings and Climate / H.C. Fritts. – London : Academic Press, 1976. – 567 p.
45. Kuhl, E. A 12,000-year tree-ring record of climate variability from the European Alps / E. Kuhl, L. Schneider, J. Esper // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – Art. 16254.
46. Mašek, J. Shifting climatic responses of tree rings and NDVI along environmental gradients / J. Mašek, J. Tumajer, J. Lange, M. Vejputsková [et al.] // Science of The Total Environment. – 2024. – Vol. 912. – Art. 168275. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168275>.
47. McPartland, M.Y. Separating common signal from proxy noise in tree rings / M.Y. McPartland, A.M. Dolman, T. Laepple // Geophysical Research Letters. – 2024. – Vol. 51, is. 13. – URL: [doi.org](https://doi.org/10.1029/2024GL066206) (date of access: 04.02.2026).
48. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences / ed. by E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1990. – 394 p. – ISBN 0-7923-0586-8.
49. Park, J. Establishing ring width and cell chronologies for predicting future growth of *Thuja koraiensis* under climate change stress / J. Park, S. Lee, I. Choi // Dendrochronologia. – 2025. – Vol. 89. – Art. 126423. – DOI: [10.1016/j.dendro.2024.126423](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2024.126423).
50. Response of Tree Rings to Climate Change and Climate Extremes : [Special Issue] / ed. by J.J. Camarero, E. Liang. – Basel : MDPI, 2023. – 342 p. – (Forests).

51. Rossi, S. Tree rings: decoding forest carbon-climate nexus / S. Rossi, X. Wang, Z. Chen [et al.] // *Journal of Forestry Research*. – 2025. – Vol. 36, no. 1. – P. 112–130. DOI: 10.1007/s11676-025-01865-4S.
52. Schönauer, M. Beyond meteorological data: Modelling tree growth with ERA5-Land / M. Schönauer, C. Pucher, J. Altman [et al.] // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2025. – Vol. 372. – Art. 110679. – DOI: 10.1016/j.agrformet.2025.110679.
53. Shishov, V.V. Experimental and theoretical analysis of tree-ring growth in cold climates / V.V. Shishov, A. Arzak, M.I. Popkova [et al.] // *Boreal Forests in the Face of Climate Change* / ed. by Isaev. – Cham : Springer Nature, 2023. – P. 215–242. – (Springer Forestry Series). – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-15988-6_11.
54. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology (TRACE 2023) : proc. of the conf., Coimbra, Portugal, May 8–12, 2023 / University of Coimbra. – Coimbra : UC Press, 2023. – 156 p.
55. Wigley, T.M.L. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology / T.M.L. Wigley, K.R. Briffa, P.D. Jones. – Text : unmediated // *Journal of Climate and Applied Meteorology*. – 1984. – Vol. 23, no. 2. – P. 201–213.
56. Wu, H. Examining the effect of sample size on the estimation of low-frequency signal strength in tree-ring chronologies / H. Wu, K. Fang, X. Li // *Dendrochronologia*. – 2024. – Vol. 85. – Art. 126213. – DOI: 10.1016/j.dendro.2024.126213.

REFERENCES

1. Alekseev A.S., Soroka A.R. Scots pine long-term growth trends analysis on North-West part of Kola Peninsula. *Journal of Botany [Botanicheskii zhurnal]*, 2003, vol. 88, no. 6, pp. 59–75. (In Russian).
2. Aminev P.S., Vildanov I.R. The influence of climatic factors on Scots pine radial increment in forest-steppe zone. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University [Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta]*, 2023, no. 2 (100), pp. 45–50. (In Russian).
3. Barinov V.V., Myglan V.S. The climatic signal in the width of annual rings of coniferous trees on the upper border of the forest in the Altai mountains. *Geography and Natural Resources [Geographia i prirodnie resursy]*, 2022, vol. 43, no. 1, pp. 112–120. (In Russian).
4. Beliaev Y.S., Ivanova A.V. Dynamics of radial growth of Siberian larch under the changing climate on the North. *Arctic and Antarctic [Arctica i Antartica]*, 2021, no. 3, pp. 28–41. (In Russian).
5. Bitvinskas T.T. Dendroclimatic studies. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974, 172 p. (In Russian).
6. Gavrikov V.L., Shisliarj V.G. The reaction of radial growth of woody plants to climate warming in the Subalpine Sayan belt. *Siberian Forest Journal [Sibirskiy Lesnoy jurnal]*, 2024, no. 1, pp. 15–25. (In Russian).
7. Demakov Yu.P. The possibilities of dendrochronology in the indication and prediction of the course of natural and anthropogenic processes. *Mathematical and Physical methods in ecology and environmental monitoring [Matematicheskie i fizicheskie metody v ekologii i monitoringe prirodnoy sredy]*, Moscow, MSFTU, 2001, pp. 257–263. (In Russian).
8. Demakov Yu.P., Andreev N.V. Patterns of radial growth of pine trees in the lake biotopes of the Mari Chodra National Park. *Eco-potential [Eco-potential]*, 2014, no. 3 (7), pp. 48–58. (In Russian).
9. Demakov Yu.P., Saphin M.G., Tishin D.V. Features of radial growth of trees in climax sphagnum pine forests of the Mari Polesie. *Dendroecology and Forest Science. Proceedings of all Russian Conference [Dendroecologia i lesovedenie. Materialy vsrossiyskoy konferencii]*, Institut lesa Sibirskogo otdeleniia rossiyskoy akademii nauk], 2007, pp. 40–42. (In Russian).

10. Vaganov E.A., Sviderskaia I.V., Kondratieva E.N. Weather conditions and structure of the annual ring: an imitation model of a tracheidogram. *Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie]*, 1990, no. 2, pp. 37–45. (In Russian).
11. Vaganov E.A., Skomarkova M.V., Shultse E.D., Linke P. The influence of climatic factors on the growth and density of the annual rings of Norway spruce and Scots pine in the mountains of Northern Italy. *Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie]*, 2007, no. 2, pp. 37–44. (In Russian).
12. Vaganov E.A., Shiyatov S.G. Dendroclimatic and dendroecological research in Northern Eurasia. *Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie]*, 2005, no. 4, pp. 18–27. (In Russian).
13. Vaganov E.A., Shiyatov S.G. Dendrochronological methods in studying the climate history of Siberia. *Problems of reconstruction of the climate and natural environment of the Holocene and Pleistocene of Siberia [Problemy rekonstrukcii klimata i prirodnoy sredy golocena i pleystocena Sibiri]*, Novosibirsk, Institute of Archaeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1998, pp. 56–64. (In Russian).
14. Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa S.V. Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic. Novosibirsk, Science, 1996, 248 p. (In Russian).
15. Glebov F.Z. Dynamics of the width of annual rings in connection with meteorological indicators in various types of swamp forests. *Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie]*, 1976, no. 4, pp. 56–62. (In Russian).
16. Glebov F.Z., Pogodina A.I. Growth of trees of some types of swamp forests of the Tomsk research station in connection with hydrothermal conditions. *Dendroclimatology and radiocarbon [Dendroclimatologiya i radiouglerod]*, Kaunas, Publishing house of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Lithuanian SSR., 1972, pp. 120–126. (In Russian).
17. Voznischeva A.S., Uspenskaia O.N., Kaplin V.G. Changes in the climatic sensitivity of the main coniferous species of the Middle Sikhote-Alin. *Siberian Forest Journal [Sibirskiy Lesnoy jurnal]*, 2024, no. 1, pp. 45–58. (In Russian).
18. Kuznetsova G.V., Gurskaia M.A. Dendrochronological analysis of radial growth of Siberian cedar under global warming conditions. *Ecology [Ekologia]*, 2023, no. 4, pp. 267–275. (In Russian).
19. Lisetskii F.N., Kalugina S.V., Polshina M.A. Analysis of the dynamics of radial growth of *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe in different sections of the slope profile. *Timiriachev Biological Journal [Timiriachevskii biologicheskii jurnal]*, 2023, no. 1, pp. 59–67. DOI: <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-59-67>. (In Russian).
20. Matveev S.M. The climatic signal in the radial growth of pine stands of modal forest types in the Voronezh region. *Forestry Information [Lesokhoziastvennaia informacia]*, 2017, no. 1, pp. 99–108. URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (date of access: 10.03.2026). (In Russian).
21. Matveev S.M., Timoshuk D.A. Dendroclimatic analysis of a 200-year-old stand of Scots pine in the Voronezh Biosphere Reserve. *Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie]*, 2019, no. 2, pp. 93–104. (In Russian).
22. Molchanov A.A. Dendroclimatic fundamentals of weather forecasts. Moscow, Science, 1976, 168 p. (In Russian).
23. Molchanov A.A., Smirnov V.V. Methodology for studying the growth of woody plants. Moscow, Science, 1967, 100 p. (In Russian).
24. Petrov I.A., Shushpanov A.S., Goliukov A.S., Kharuk V.I. The impact of climate change on the radial growth of *Pinus sibirica* Du Tour in the mountain forests of the Kuznetsk Alatau. *Siberian Forest Journal [Sibirskiy Lesnoy jurnal]*, 2019, no. 5, pp. 43–53. (In Russian).
25. Rubtsov V.I., Ilin A.M. On the question of the effect of precipitation and air temperature on the growth of pine trees. *Scientific Records of Voronezh Forest Technical Institute [Nauchnye zapiski Voronezhskogo lesotekhnicheskogo instituta]*, 1956, vol. 15, pp. 57–62. (In Russian).

26. Rumiantsev D.E. History and methodology of dendrochronology: a textbook for universities, 2-d edition. Moscow, Urait, 2022, 175 p. (In Russian).
27. Rumiantsev D.E., Vorobiova N.S. Dendroecological study of aspen growth in the conditions of the Moscow region. *Russian Forestry Journal [Izvestia vyzov. Lesnoy jurnal]*, 2024, no. 3, pp. 46–64. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-3-46-64>. (In Russian).
28. Tebenkova D.N., Lomakin N.V. The influence of extreme climatic events on the radial growth of the black oak in the southern part of the forest zone. *Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie]*, 2021, no. 5, pp. 483–495. (In Russian).
29. Tiukavina O.N., Klepikova I.I. Variability of radial growth of pine in various forest conditions. *Conifers of Boreal Zone [Khvoynie borealnoy zony]*, 2022, vol. 40, no. 6, pp. 510–517. (In Russian).
30. Fonti M.V. Climate signal in the parameters of annual rings (wood density, anatomical structure, and isotopic composition) of coniferous and deciduous tree species in various natural and climatic zones of Eurasia. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2020, 45 p. (In Russian).
31. Shashkin E.A. Dynamics of tree trunk cross-sectional area growth in different regions of Siberia due to global temperature changes. *Russian Journal of Forest Science [Lesovedenie]*, 2000, no. 3, pp. 3–12. (In Russian).
32. Shvedov F.N. The tree as a chronicle of droughts. *Meteorological bulletin [Meteorologicheskii Vestnik]*, 1892, no. 5, pp. 163–178. (In Russian).
33. Shiiatov S.G. Dendrochronology of the upper forest boundary in the Urals. Moscow, Science, 1986, 136 p. (In Russian).
34. Shishov V.V., Tichkov I.I., Popkova M.I. Methods of dendroclimatic data analysis and their application to the territory of Siberia. A textbook. Siberian federal university. Krasnoyarsk, 2015, 210 p. (In Russian).
35. Alekseev A.S., Sharma S.K. Long-term growth trends analysis of Norway spruce stands in relation to possible climate change: case study of Leningrad region. *Russian Forestry Journal [Izvestia vyzov. Lesnoy jurnal]*, 2020, no. 3, pp. 42–54. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-3-42-54](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-3-42-54).
36. Alekseev A.S., Soroka A.R. Scots Pine Growth Trends in Northwestern Kola Peninsula as an Indicator of Positive Changes in the Carbon Cycle. *Climate change*, 2002, vol. 55, is. 1–2, pp. 183–196.
37. Altman J., Altmanova N., Fibich P., Korznikov R., Fonti P. Advancing dendrochronology with R: an overview of packages and future perspectives. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2025, vol. 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2025.1593675>. URL: www.frontiersin.org (date of access: 04.02.2026).
38. Babst F., Bodesheim P., Charney N., Friend A., Girardin M., Klesse S., Moore D., Seftigen K., Björklund J., Bouriaud O., Dawson A., DeRose R., Dietze M., Eckes A., Enquist B., Frank D., Mahecha M., Benjamin Poulter B., Record S., Trouet V., Evans M. When tree rings go global: Challenges and opportunities for retro- and prospective insight. *Quaternary Science Reviews*, vol. 197, 1 October 2018, pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.07.009>.
39. Bunn A.G., Korpela M., Biondi F., Campelo P., Mérian P., Qeadan F., Zang C. dplR: Dendrochronology Program Library in R. Version 1.7.7. 2024. URL: cran.r-project.org (date of access: 04.02.2026).
40. Carrer M., Castagneri S., Deslauriers R.P. Wood anatomy of Douglas-fir shows high plasticity but low adaptation to climate change. *Journal of Ecology*, 2022, vol. 110, no. 8, pp. 1834–1846.
41. Churakova (Sidorova) O.V., Zharkov M.S., Fonti M.V., Barinov V.V., Taynik A.V., Kirdeyanov A.V., Knorre A.A., Wegmann M., Trushkina T.V., Koshurnikova N.N., Vaganov E.A., Myglan V.S., Siegwolf R.T.W., Saurer M. Climate impacts on tree-ring stable isotopes across the Northern hemispheric Boreal zone. *Science of the Total Environment*, 2023, vol. 870. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2023.161644](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161644).
42. Eggers J., Tumajer J., Kašpar J., Altman J., Altmanová N., Camarero J., Vojtěch E., Čihák T., Doležal J., Fibich P., Janda P., Lindner M., Hans-Werner Lindner H-W., Hanewinkel M. Longer growing seasons will not offset growth loss in drought-prone regions. *Nature Communications*, 2025, vol. 16, no. 10, pp. 452–468. DOI: [10.1038/s41467-025-64568-8](https://doi.org/10.1038/s41467-025-64568-8).
43. Farahat E., Gartner H. Dendrochronological studies in North Africa: reality and prospects. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2024, vol. 12. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1299472>.
44. Fritts H.C. Tree Rings and Climate. London, Academic Press, 1976, 567 p.
45. Kuhl E., Schneider L., Esper J. A 12,000-year tree-ring record of climate variability from the European Alps. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, art. 16254.
46. Mašek J., Tumajer J., Lange J., Vejvustková M., Kašpar J., Šamonil P., Chuman T., Kolář T., Rybníček M., Jeníček M., Vašíčková I., Čada V., Kaczka R., Rydval M., Svoboda M., Nedělková O., Hais M., Tremil V. Shifting climatic responses of tree rings and NDVI along environmental gradients. *Science of The Total Environment*, 2024, vol. 912, art. 168275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168275>.
47. McPartland M.Y., Dolman A.M., Laepple T. Separating common signal from proxy noise in tree rings. *Geophysical Research Letters*, 2024, vol. 51, is. 13. URL: doi.org (date of access: 04.02.2026).
48. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Ed. by E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1990, 394 p. ISBN 0-7923-0586-8.
49. Park J., Lee S., Choi I. Establishing ring width and cell chronologies for predicting future growth of *Thuja koraiensis* under climate change stress. *Dendrochronologia*, 2025, vol. 89, art. 126423. DOI: [10.1016/j.dendro.2024.126423](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2024.126423).
50. Response of Tree Rings to Climate Change and Climate Extremes. [Special Issue]. Ed. by J.J. Camarero, E. Liang. Basel, MDPI, 2023, 342 p. (*Forests*).
51. Rossi S., Wang X., Chen Z., Fang K., Xu T., Yu L. Tree rings: decoding forest carbon-climate nexus. *Journal of Forestry Research*, 2025, vol. 36, no. 1, pp. 112–130. DOI: [10.1007/s11676-025-01865-4](https://doi.org/10.1007/s11676-025-01865-4).
52. Schönauer M., Pucher C., Altman J., Weißbacher J., Sprengel L., Rewald B. Beyond meteorological data: Modelling tree growth with ERA5-Land. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2025, vol. 372, art. 110679. DOI: [10.1016/j.agrformet.2025.110679](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2025.110679).
53. Shishov V.V., Arzac A., Popkova M.I., Minhui He B.Y., Vaganov E.A. Experimental and theoretical analysis of tree-ring growth in cold climates. *Boreal Forests in the Face of Climate Change*. Ed. by M. Stoffel. Springer Nature, 2023, pp. 295–321. (*Springer Forestry Series*). URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-15988-6_11.
54. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology (TRACE 2023). *Proc. of the conf., Coimbra, Portugal, May 8–12, 2023. University of Coimbra*. Coimbra, UC Press, 2023, 156 p.
55. Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Text : unmediated. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984, vol. 23, no. 2, pp. 201–213.
56. Wu H., Fang K., Li X. Examining the effect of sample size on the estimation of low-frequency signal strength in tree-ring chronologies. *Dendrochronologia*, 2024, vol. 85, art. 126213. DOI: [10.1016/j.dendro.2024.126213](https://doi.org/10.1016/j.dendro.2024.126213).

Статья поступила в редакцию 26.03.2026