

УДК 630.181:551.583
DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-2
EDN BCQSFT

Особенности климатического отклика сосны крымской и сосны обыкновенной в предгорной лесостепи Крыма

Полетаев А.О.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
poletaev@bsuedu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты дендрохронологического исследования, направленного на изучение климатического отклика сосны крымской и сосны обыкновенной в предгорной лесостепи Крыма. Выявлено снижение индекса прироста (I) за период с 2000 по 2010–2012 гг., сменившееся его ростом до 2016–2018 гг., далее прослеживается повторное снижение до 2020 г., сменившееся ростом до 2022–2023 гг. Корреляционный анализ между значениями индекса прироста и климатическими параметрами показал, что наибольшее влияние на рост оказывают температуры февраля–апреля, а наиболее значительно выделяется вклад условий марта: в Яблочном (1998–2012 гг.) корреляция индекса прироста (I) с мартовской температурой составила 0,55, в Аграрном (2004–2012 гг.) эта связь сильнее – 0,71. Биоклиматический потенциал (Q) демонстрирует согласованность с индексом прироста: снижение Q в 1975–1984 и 1992–1998 гг. совпало со снижением I в Аграрном (с 1,14 до 0,96) и Пятихатке (с 0,90 до 0,79). В Яблочном за тот же период I вырос с 0,99 до 1,23, что может быть обусловлено выдвижением полосы изолиний Q (1000–1100 МДж/м²/год) на север и северо-восток Крымского полуострова.

Ключевые слова: сосна крымская, сосна обыкновенная, климатический отклик, предгорная лесостепь Крыма, дендроклиматология

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>.

Для цитирования: Полетаев А.О. 2026. Особенности климатического отклика сосны крымской и сосны обыкновенной в предгорной лесостепи Крыма. Региональные геосистемы, 50(1): 18–32. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-2 EDN: BCQSFT

Features of the Climate Response of *Pinus Nigra* subsp. *Pallasiana* and *Pinus Sylvestris* L. in the Foothill Forest-Steppe of the Crimea

Arseniy O. Poletaev

Belgorod State National Research University,
85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia
poletaev@bsuedu.ru

Abstract. The article presents the results of a dendrochronological study aimed at studying the climatic response of Crimean pine and Scots pine in the foothill forest-steppe of the Crimea. Wood cores were collected in three key areas: in the forest massif of man-made pine plantations northwest of the village of Yablochnoye (Scots pine), in Grenadersky Park of the village of Agrarnoe (Crimean pine), and in Oktyabrsky Forest Park near the village of Pyatikhatka (Crimean pine) using the Haglof increment borer. Dendrochronological analysis of the cores was conducted on LINTAB equipment using TSAPWin

software. Cross-dating was performed and the following parameters were calculated: compatibility (Glc), cross-correlation (CC), and Cross Date index (CDI). A decrease in the increment index (I) was revealed in the period from 2000 to 2010–2012, followed by its growth until 2016–2018, and a further decrease until 2020, followed by growth until 2022–2023. Correlation analysis between the increment index values and climatic parameters showed that the greatest influence on growth was exerted by February–April temperatures, with March being the most significant: in Yablochnoye (1998–2012), the correlation of the increment index (I) with the March temperature was 0.55, while in Agrarnoye (2004–2012), this relationship was stronger, equaling 0.71. The bioclimatic potential (Q) demonstrates consistency with the increment index: a decrease in Q in 1975–1984 and 1992–1998 coincided with a decrease in I in Agrarnoye (from 1.14 to 0.96) and Pyatikhatka (from 0.90 to 0.79). In Yablochnoye, over the same period, I increased from 0.99 to 1.23, which may be due to the extension of the Q isoline band (1000–1100 MJ/m²/year) to the north and northeast of the Crimean Peninsula.

Keywords: Crimean pine, Scots pine, climate response, foothill forest-steppe of the Crimea, dendroclimatology

Acknowledgements. This work was funded by the Russian Science Foundation, project no. 23-17-00169, <https://rscf.ru/en/project/23-17-00169/>.

For citation: Poletaev A.O. 2026. Features of the Climate Response of *Pinus Nigra* subsp. *Pallasiana* and *Pinus Sylvestris* L. in the Foothill Forest-Steppe of the Crimea. Regional Geosystems, 50(1): 18–32 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-2 EDN: BCQSFT

Введение

Климатический отклик древесных растений является индикатором изменения условий окружающей среды, в которой они произрастают. На территории Европейской части России отмечена положительная реакция хвойных деревьев, произрастающих севернее 60° с.ш., на летнюю температуру, а на более южных широтах (54–56° с.ш.) ширина кольца зависит от комбинации двух параметров – тепла и влажности [Matskovsky, 2016]. В лесостепной зоне в качестве лимитирующего фактора выступает количество атмосферных осадков, который обуславливает формирование у деревьев узких годовичных колец в засушливые годы [Лисецкий, Митряйкина, 2012]. Топоэкологические условия произрастания также влияют на радиальный прирост древесины, при этом трансформируется региональный климатический сигнал. Хвойные и лиственные породы показывают в климатическом отклике особенности видоспецифического характера, несмотря на сходные условия произрастания [Бабушкина и др., 2011]. Между климатическими факторами и приростом стволовой древесины выявляется сложное взаимодействие, а динамика прироста зависит не только от наличия засушливых периодов, но и от таких факторов, как возраст дерева, его физиологическое состояние, степень воздействия других экологических факторов [Литовченко и др., 2025].

В дендрохронологических, и, в частности, дендроклиматических исследованиях часто объектом исследования выступает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) ввиду таких особенностей, как отчетливость границ между годовичными слоями, слабое влияние плодоношения на динамику прироста [Тишин, Чижикова, 2018], долговечность, высокая синхронность отклика на климатические факторы [Вахнина, 2011]. Ее показатель радиального прироста позволяет охарактеризовать состояние лесных насаждений, их соответствие лесорастительным условиям, степень повреждения древостоев природными или антропогенными стресс-факторами [Зборовская и др., 2014]. Значительная роль в ростовых процессах сосны обыкновенной отведена совместному влиянию температуры и осадков [Хамидуллина и

др., 2014]. При этом на рост влияет ее расположение на склонах разной экспозиции, которые характеризуются различием почвенного плодородия и увлажнения [Автономов, Артемьева, 2012], а на интенсивность радиального прироста напрямую влияют суточные колебания водного потенциала тканей и клеток [Antonova et al., 1995]. В то же время, в условиях сухих местообитаний основным лимитирующим фактором является доступность воды, и в таком случае температура воздуха и солнечная радиация не оказывают значимого прямого влияния на прирост [Zweifel et al., 2006; Bogino et al., 2009]. Также выявляется зависимость между радиальным приростом сосны обыкновенной и осадками разного генезиса [Кузнецова и др., 2020]. В конечном счете, для оценки динамики состояния сосновых древостоев необходима дальнейшая проработка результатов моделирования и прогнозирования радиального прироста [Матвеев, Тимащук, 2019], наряду с этим перспективно использование вегетационного индекса *NDVI* [Рыгалова, Плуталова, 2021].

На территории Крыма в ходе проведения дендрохронологических и дендроклиматических исследований выявлены существенные изменения климатических условий с античного времени по сравнению с современным климатом в предгорной и приморской лесостепи [Лисецкий и др., 2019]. Выявлена тесная зависимость индекса прироста от условий влагообеспеченности для сосны крымской (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) [Ергина и др., 2012]. Установлен достоверный климатический отклик в приросте древесины ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) на территории Северо-Западного Крыма на основании корреляционного анализа между индексом радиального прироста и годовым количеством осадков, индексом радиального прироста и показателем *Q* (коэффициент биоклиматического потенциала) [Лисецкий, Польшина, 2022].

В данном исследовании был проведен дендрохронологический анализ кернов сосны крымской (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с целью выявления их отклика на изменения климата в предгорной лесостепи Крыма. Во всех лесорастительных условиях отличительной особенностью сосны обыкновенной является опережение по темпам роста в высоту сосны крымской до 30 лет, но к 40 годам сосна крымская сравнивается с ней, и в дальнейшем даже опережает [Лисецкий, 2008].

Объекты и методы исследования

В пределах предгорной лесостепи Крыма был проведен пробоотбор кернов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (точки отбора 1, 2 на ключевом участке № 1 (рис. 1, А)) и керны сосны крымской (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) (точки отбора 3–10 на ключевых участках № 2, 3 (рис. 1, Б, В)) с помощью возрастного (приростного) бурава *Haglof*. С каждого дерева были отобраны по два керна – с восточной и западной сторон, что было использовано как повторности. Толщину коры измеряли для корректировки параметра «Длина окружности». Подробная информация о точках отборов кернов и характеристики деревьев дана в табл. 1. По отношению к метеостанциям ключевые участки расположены следующим образом: ключевой участок № 1 расположен в 7 км к северу от метеостанции № 33966 (Белогорск), ключевой участок № 2 расположен в 8 км к северо-западу от метеостанции № 33946 (Симферополь), ключевой участок № 3 расположен в 23,8 км к юго-востоку от метеостанции № 33939 (Клепинино).

Таблица 1
Table 1

Координаты точек отбора кернов и характеристики деревьев, выбранных для отбора кернов
Coordinates of core sampling points and characteristics of trees selected for core sampling

№ точки отбора	Координаты		Длина окружности, см	Радиус с корой, см	Толщина коры, см	Радиус без коры, см
	с.ш.	в.д.				
1	45,08636	34,59349	106	16,87	2,6	14,27
2	45,08637	34,5935	99,4	15,82	1,8	14,02
3	45,01407	34,05337	154	24,51	3,2	21,31
4	45,01377	34,05361	133	21,17	1,8	19,37
5	45,01308	34,0545	155,1	24,68	2,8	21,88
6	45,01211	34,05517	93	14,80	1,7	13,10
7	45,0114	34,05694	121,5	19,34	1,0	18,34
8	45,32489	34,27397	86	13,69	1,1	12,59
9	45,32472	34,27402	97,2	15,47	2,0	13,47
10	45,32434	34,27413	98,2	15,63	1,8	13,83

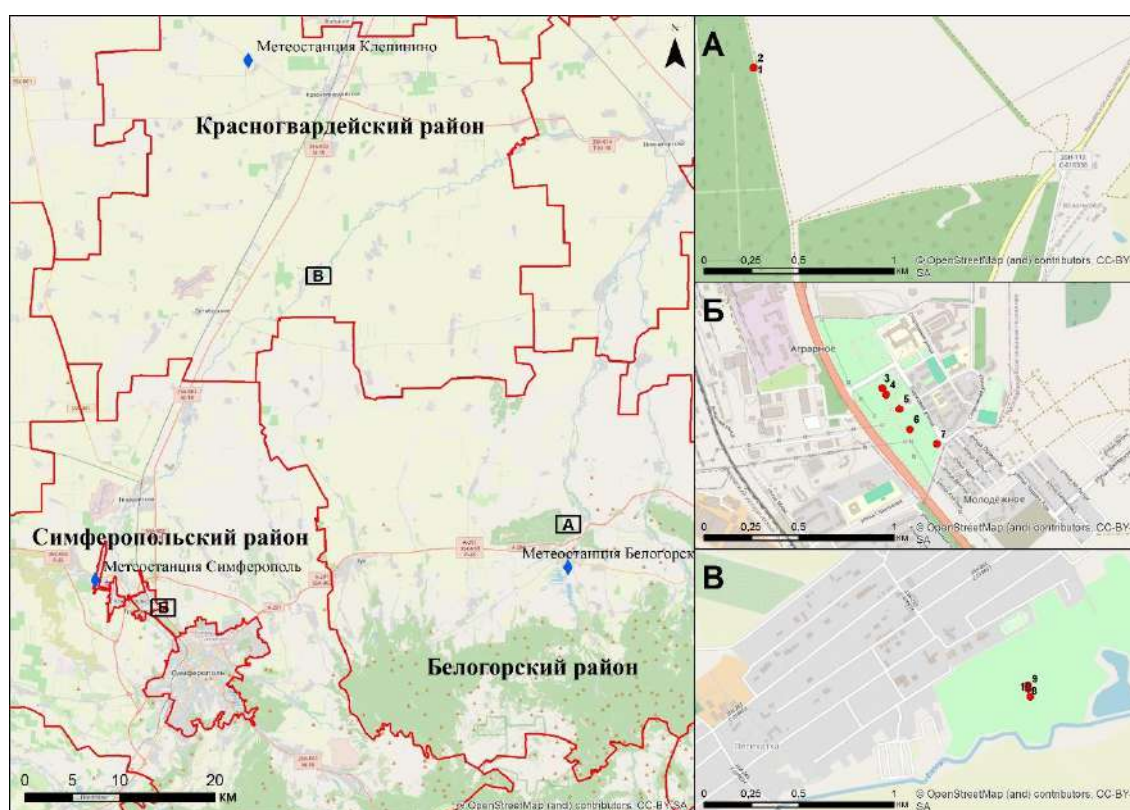


Рис. 1. Карта-схема отбора кернов. Ключевые участки: А – лесной массив искусственных насаждений сосны к СЗ от с. Яблочное, Б – Гренадерский парк с. Аграрное, В – Октябрьский лесопарк у с. Пятихатка

Fig. 1. Map-scheme of core sampling. Key areas: А – forest massif of man-made pine plantations to the northwest of the village of Yablochnoye, Б – Grenadersky Park of the village of Agrarnoye, В – Oktyabrsky forest park near the village of Pyatikhatka

Предварительно подготовленные в ходе зачистки (шлифовки) керны были подвергнуты дендрохронологическому анализу радиального прироста на оборудовании *LINTAB*, которое позволяет определить ширину годовичных колец (в единицах измерения, равных 1, 0,1, 0,01 и 0,001 мм), в комплексе с ПО *TSAPWin*, обеспечивающим запись данных измерений, их редактирование, кросс-датирование, построение графиков.

Результаты и их обсуждение

Полученные данные о ширине годовых колец были подвергнуты перекрестной датировке с целью определения времени формирования слоев прироста древесины и уточнения величины прироста для каждого из деревьев по двум кернам, отобранным с восточной и западной сторон. В ходе перекрестной датировки кернов в ПО *TSAPWin* рассчитан ряд параметров, таких как совместимость (*Glk*), перекрестная корреляция (*CC*), индекс *Cross Date* (*CDI*), результаты расчетов показаны в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Результаты перекрестной датировки кернов
Results of cross-dating of cores

№ точки отбора	Образцы	Glk, %	CC, %	CDI
1	1–1, 1–2	89	88	91
2	2–1, 2–2	71	89	34
3	3–1, 3–2	58	71	21
4	4–1, 4–2	54	56	9
5	5–1, 5–2	86	94	91
6	6–1, 6–2	59	47	8
7	7–1, 7–2	69	71	20
9	9–1, 9–2	64	13	11
10	10–1, 10–2	60	51	16

Примечание. В табл. 2 отсутствуют данные по точке отбора № 8, т.к. образец 8–1 был отбракован по причине невозможности его датировки.

Ввиду низкого значения перекрестной корреляции (*CC*, %) между образцами 9–1 и 9–2, они были исключены из дальнейшего анализа, также был отбракован образец 8–2, ввиду отсутствия его перекрестной датировки с образцом 8–1.

В *MS Excel* была проведена визуализация результатов перекрестной датировки кернов в виде графиков ежегодного прироста древесины (*L*, 1/100 мм) для каждой из точек отбора по усредненным значениям ежегодного прироста древесины на основании соответствующих точке отбора образцов (рис. 2–4).

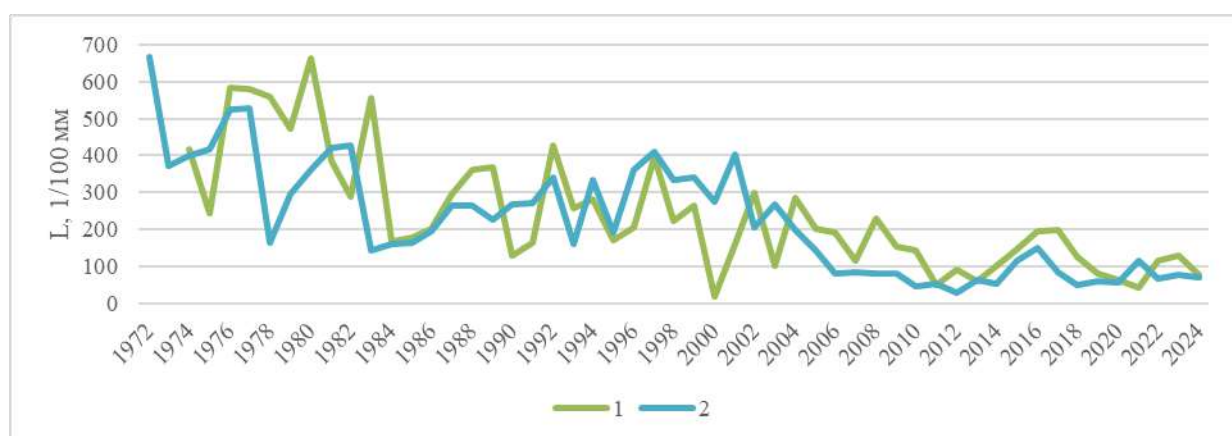


Рис. 2. Ежегодный прирост древесины на точках отбора 1–2 (ключевой участок № 1)
Fig. 2. Annual timber increment at sampling points 1–2 (key site No. 1)

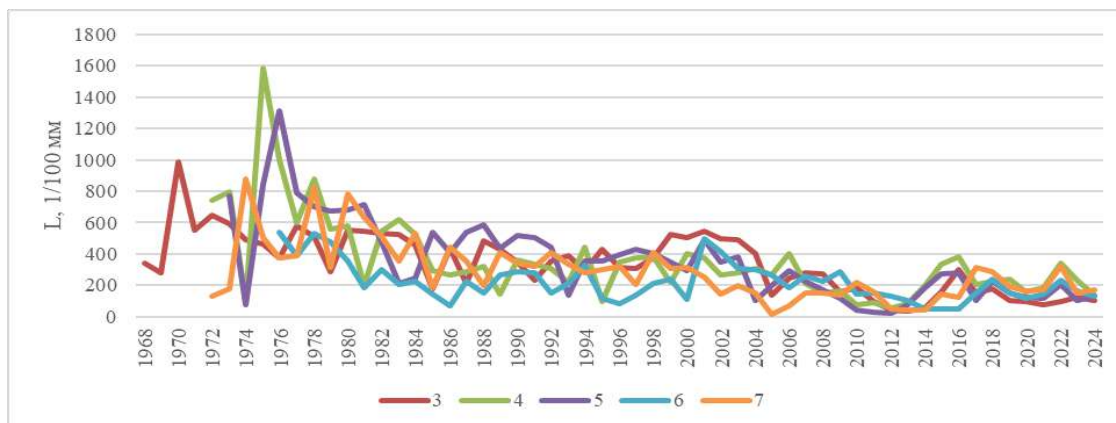


Рис. 3. Ежегодный прирост древесины на точках отбора 3–7 (ключевой участок № 2)
Fig. 3. Annual timber increment at sampling points 3–7 (key site No. 2)

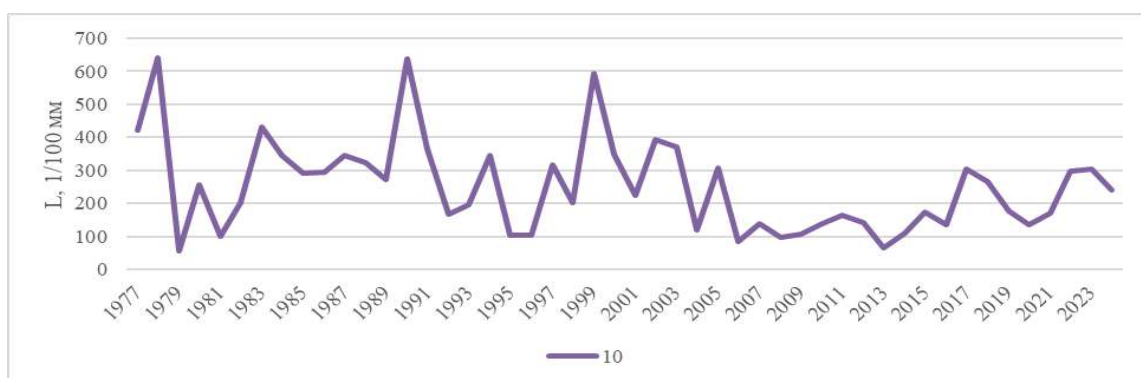


Рис. 4. Ежегодный прирост древесины на точке отбора 10 (ключевой участок № 3)
Fig. 4. Annual timber increment at sampling point 10 (key site No. 3)

Коэффициент корреляции между усредненными ежегодными приростами древесины для точек 1 и 2 составил 0,62. Для остальных точек отбора коэффициенты корреляции показаны в корреляционных матрицах (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Корреляционная матрица для точек отбора 3–7
Correlation matrix for sampling points 3–7

	4	5	6	7
3	0,49	0,56	0,47	0,55
4		0,73	0,63	0,35
5			0,59	0,43
6				0,41

Для проверки достоверности дендрохронологических данных для точек отбора 1, 2 было проведено сравнение с данными 2023 г., полученными на основании анализа кернов, отобранных в 2020 г. [Лисецкий и др., 2023]. Было проведено сравнение ежегодного прироста древесины на точках отбора 1–2 настоящего исследования (см. рис. 2) с ежегодным приростом на точке отбора 20-Водораздел (80)–1 [Лисецкий и др., 2023], наиболее близко расположенной к точкам отбора 1–2. График ежегодного прироста древесины на точках отбора 1–2 и 20-Водораздел (80)–1 представлен на рис. 5.

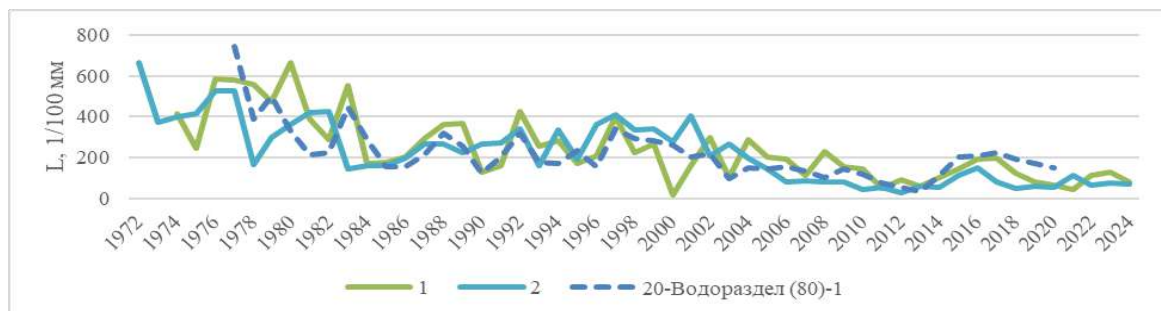


Рис. 5. Ежегодный прирост древесины на точках отбора 1–2 и Водораздел (80)–1
Fig. 5. Annual timber increment at sampling points 1–2 and Watershed (80)–1

Коэффициент корреляции между ежегодным приростом древесины для точек 1 и 20-Водораздел (80)–1 составил 0,77, для точек 2 и 20-Водораздел (80)–1 составил 0,56.

Для каждого из ключевых участков была рассчитана средняя ширина кольца на основании обобщенных (усредненных) значений, полученных в результате анализа образцов (рис. 6).

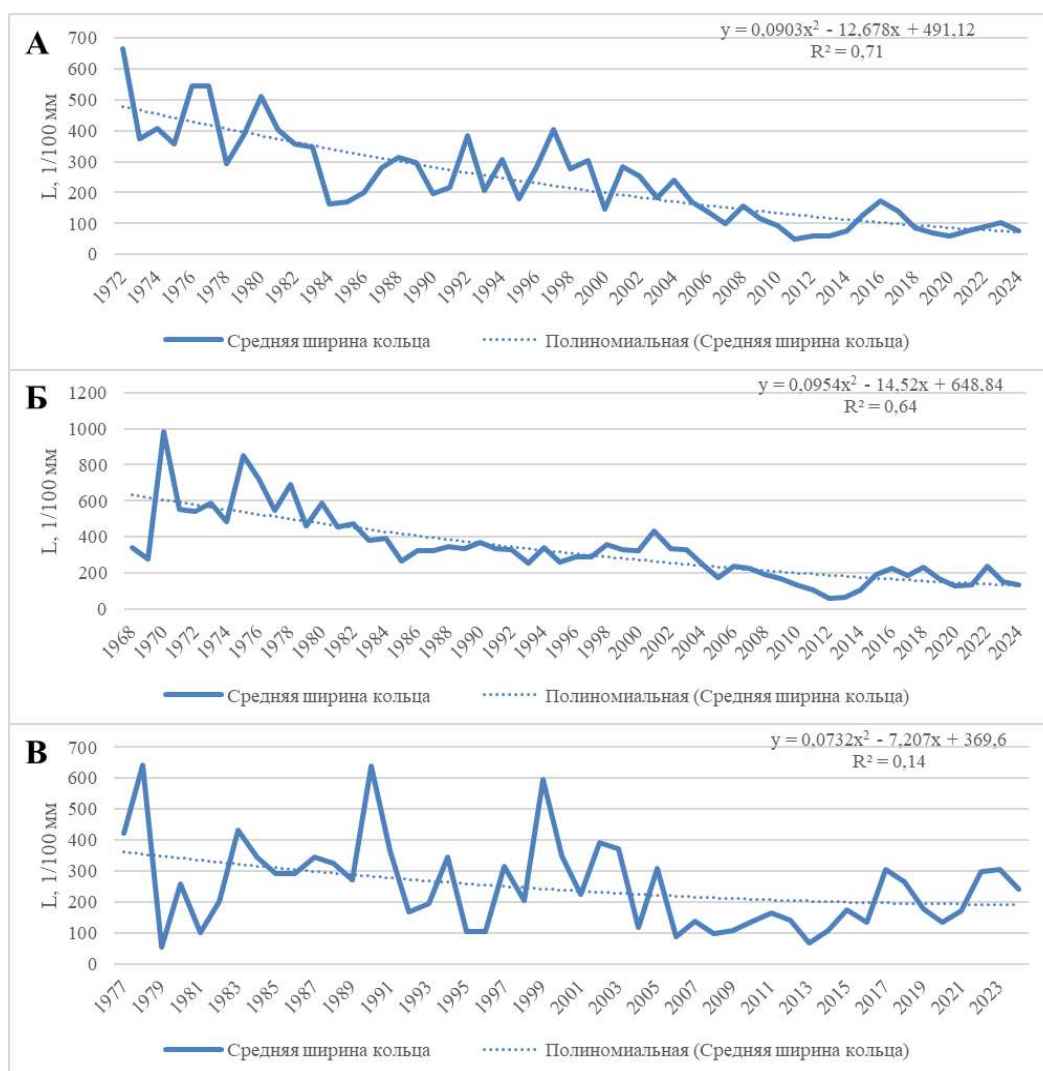


Рис. 6. Средняя ширина кольца по обобщенным данным на ключевых участках:
А – № 1, Б – № 2, В – № 3

Fig. 6. Average ring width according to generalized data in key areas: A – No. 1, Б – No. 2, В – No. 3

Для проверки достоверности дендрохронологических данных для точек отбора 3–7 было проведено сравнение средней ширины кольца по обобщенным данным на ключевом участке № 2 и общей ширины годовых колец спила сосны крымской или Палласа – *Pinus pallasiana* D. Don, которая произрастала на территории Ботанического сада ТНУ с 1894 года [Ергина и др., 2012] (рис. 7). Коэффициент корреляции между этими величинами составляет 0,30 (период временного охвата 1968–2008 гг.), наибольшая синхронность выделяется в период 1993–2008 гг., для которого коэффициент корреляции равен 0,65.

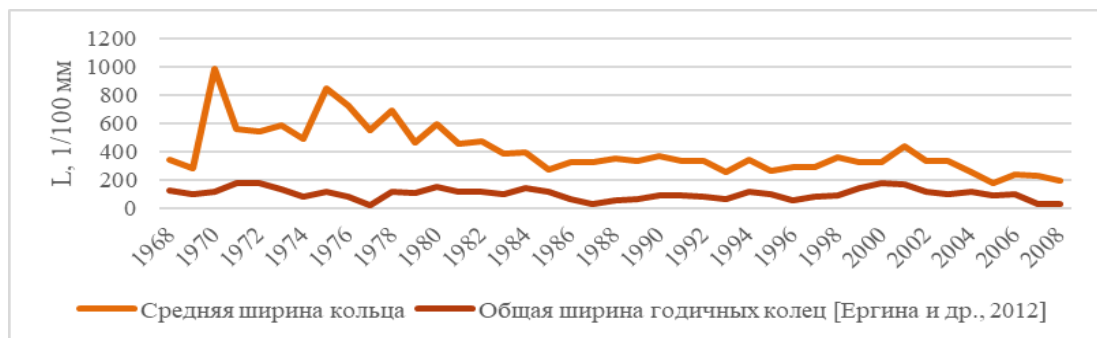


Рис. 7. Средняя ширина кольца по обобщенным данным на ключевом участке № 2 и общая ширина годовых колец [Ергина и др., 2012]
Fig. 7. Average ring width according to generalized data in key area No. 2 and total width of year rings [Ergina et al., 2012]

Статистическое нормирование ширины годовых колец проводили для преобразования разнородных исходных данных радиального прироста в одну безмерную (коэффициентную) плоскость значений в виде индекса прироста (1):

$$It = \frac{wt}{Yt}, \quad (1)$$

где I – индекс прироста; W – фактическая ширина годового кольца; Y – сглаженная ширина годового кольца для года t .

Сглаженная ширина годового кольца для года t была рассчитана путем построения полиномиальной линии тренда (линии тренда показаны на рис. 6), в итоге был рассчитан индекс прироста для всех ключевых участков (рис. 8).

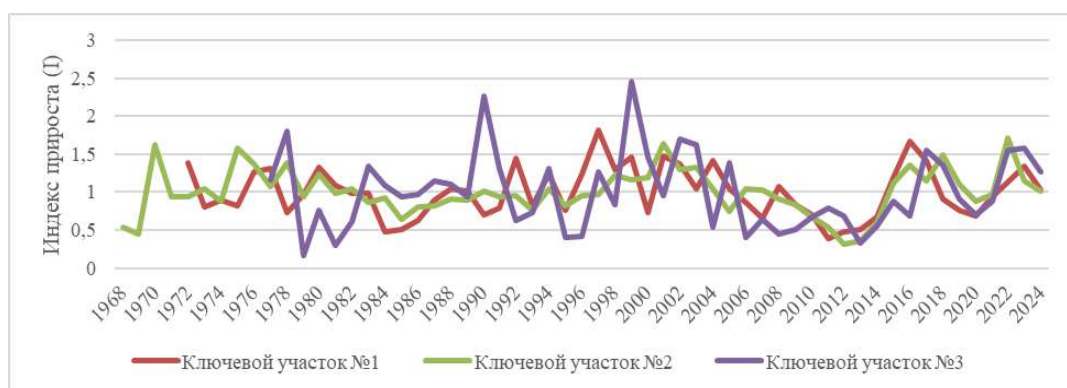


Рис. 8. Изменение индекса прироста (I) для ключевых участков № 1–3
Fig. 8. Change in the increment index (I) for key areas No. 1–3

Коэффициент корреляции между рядами значений индекса прироста (I) для ключевых участков № 1 и № 2 составил 0,51 (период 1972–2024 гг.), для ключевых участков № 1 и № 3 составил 0,19 (период 1977–2024 гг.), для ключевых участков № 2 и № 3 составил 0,42 (период 1977–2024 гг.).

Наибольшие значения индекса прироста на ключевом участке № 1 характерны для 1997 и 2016 гг., на ключевом участке № 2 – для 1970, 1975, 2001, 2018, 2022 гг., на ключевом участке № 3 – для 1978, 1990, 1999, 2002, 2017, 2023 гг. В целом, для всех ключевых участков отчетливо выявляется тренд уменьшения индекса прироста начиная примерно с 2000 г. до 2010–2012, который сменяется увеличением до 2016–2018 гг. Затем наблюдается повторное уменьшение до 2020 г., которое сменяется увеличением к 2022–2023 г. Амплитуда колебаний индекса прироста (I) на ключевом участке № 1 равна 1,43, на ключевом участке № 2 – 1,40, на ключевом участке № 3 составляет 2,29.

Была выявлена зависимость между рассчитанными ранее [Лисецкий и др., 2024] значениями коэффициента биоклиматического потенциала Q (единица измерения – МДж/м² в год) для метеостанции № 33946 (Симферополь) и индексами прироста (I) на всех ключевых участках (рис. 9). Коэффициент корреляции между коэффициентом Q и индексом I составил 0,58 на ключевом участке № 1, 0,34 на ключевом участке № 2 и 0,33 на ключевом участке № 3.

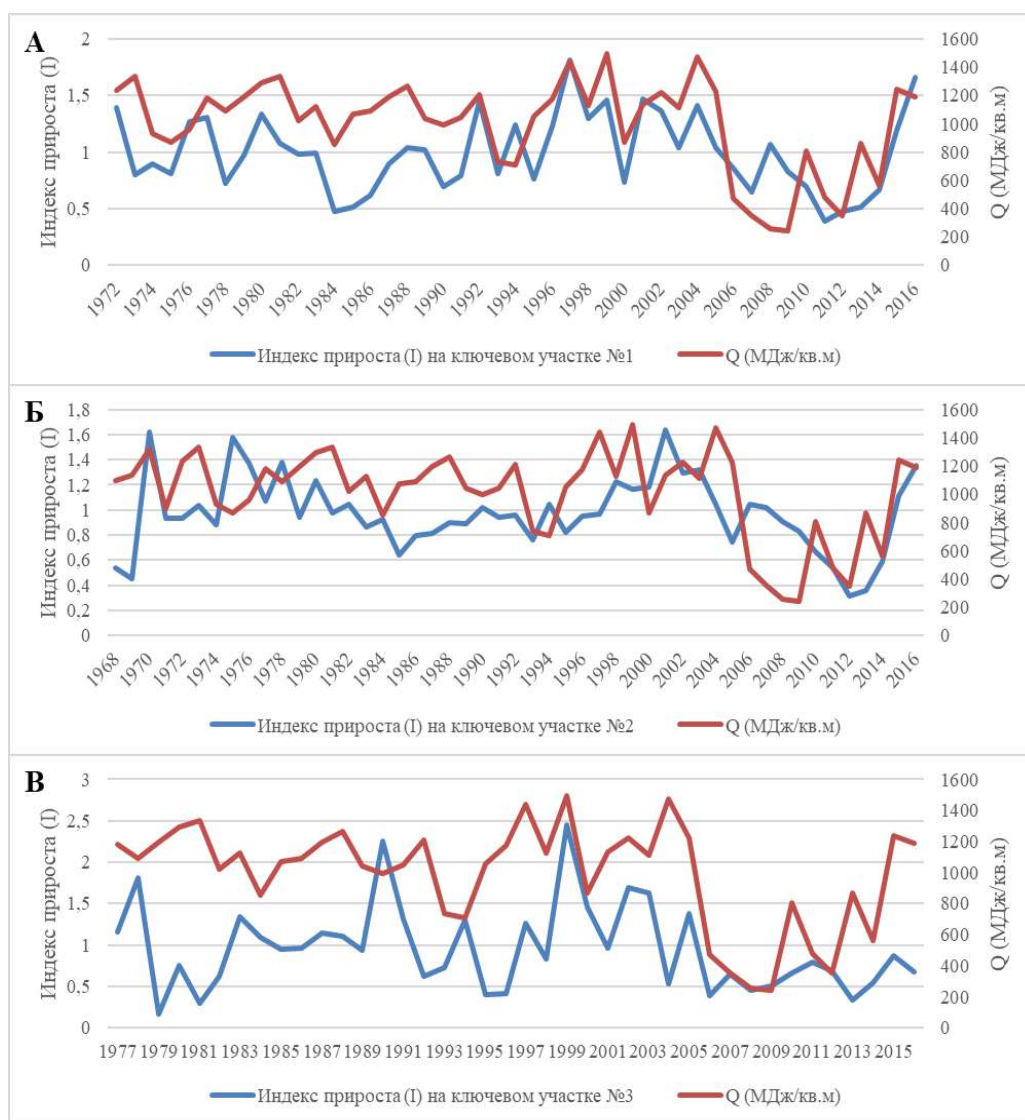


Рис. 9. Изменение индекса прироста (I) и коэффициента биоклиматического потенциала (Q) на ключевых участках: А – № 1 с 1972 по 2016 гг., Б – № 2 с 1968 по 2016 гг., В – № 3 с 1977 по 2016 гг.

Fig. 9. Changes in the increment index (I) and the bioclimatic potential coefficient (Q) in key areas: А – No. 1 from 1972 to 2016, Б – No. 2 from 1968 to 2016, В – No. 3 from 1977 to 2016

Была проанализирована взаимосвязь между индексами прироста (I) и средней температурой воздуха по месяцам на основании архива данных метеостанций № 33966 (Белогорск) [Средняя температура ... Белогорск, 2025], № 33946 (Симферополь) [Средняя температура ... Симферополь, 2025], № 33939 (Клепинино) [Средняя температура ... Клепинино, 2025]. В целом, значение коэффициента корреляции между индексами прироста (I) и средней температурой воздуха по месяцам не превышало 0,23 (максимальная корреляция за период 1968–2023 гг. на ключевом участке № 2 между индексами прироста (I) и средней температурой воздуха в феврале). Для февраля характерно наличие временных отрезков, где синхронно снижаются или увеличиваются индекс прироста (I) и средняя температура (рис. 10А, В, Д). Наиболее интересной для анализа является взаимосвязь между индексом прироста (I) и средней температурой воздуха в марте (T) (рис. 10Б, Г, Е).

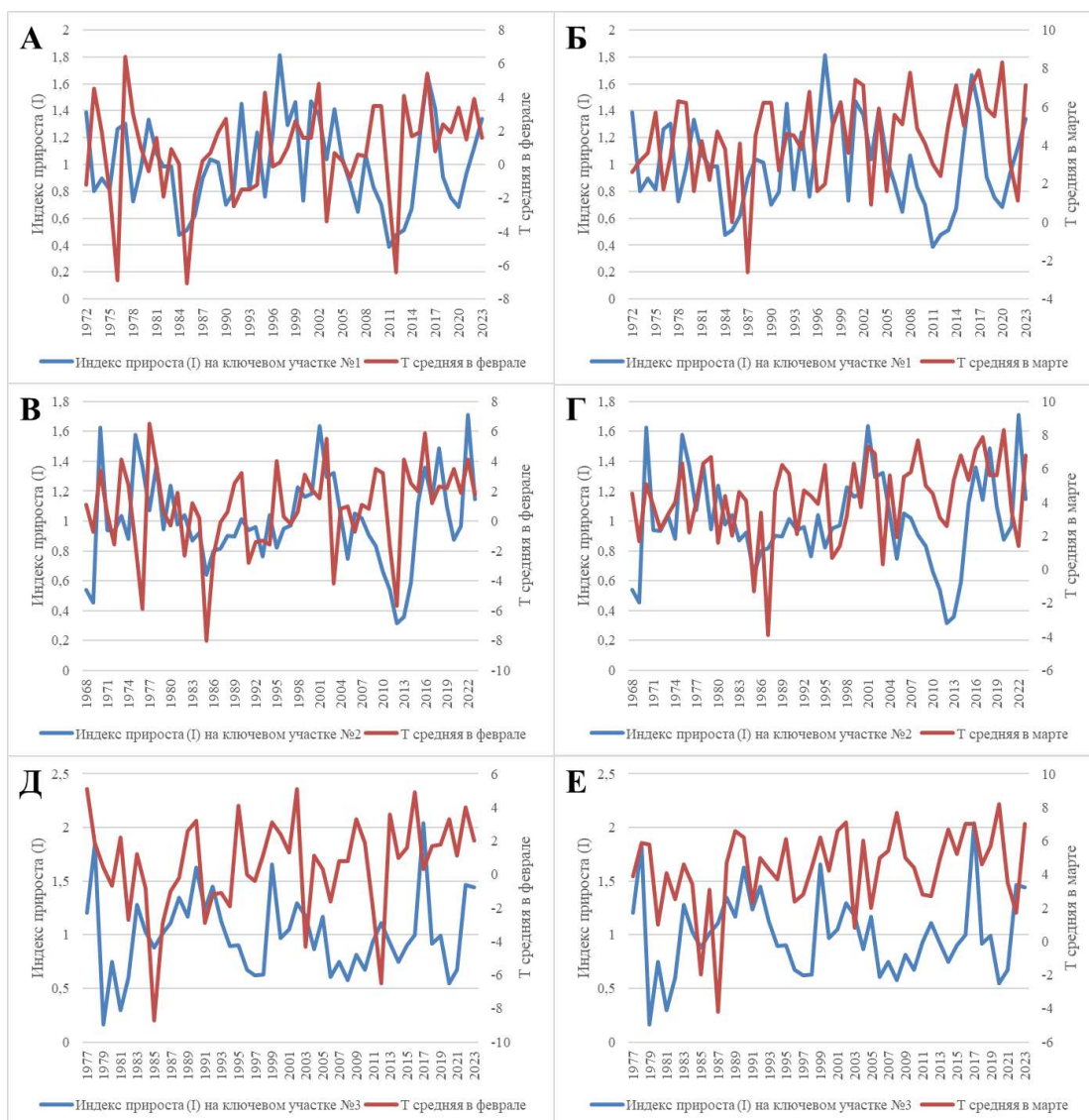


Рис. 10. Изменение индекса прироста (I) и средней температуры воздуха (T): на ключевом участке № 1 с 1972 по 2023 гг. в феврале (А), в марте (Б); на ключевом участке № 2 с 1968 по 2023 гг. в феврале (В), в марте (Г); на ключевом участке № 3 с 1977 по 2023 гг. в феврале (Д), в марте (Е)

Fig. 10. Change in the increment index (I) and average air temperature (T): in key area No. 1 from 1972 to 2023 in February (А), in March (Б); in key area No. 2 from 1968 to 2023 in February (В), in March (Г); in key area No. 3 from 1977 to 2023 in February (Д), in March (Е)

Несмотря на низкое значение коэффициента корреляции между индексом прироста (I) и средней температурой воздуха в марте (максимально 0,19 на ключевом участке № 2) для длительных периодов с конца 1960-х до начала 2020-х гг., для менее продолжительных отрезков времени корреляционная связь значительно выше. Так, например, для ключевого участка № 1 между индексом прироста (I) и средней температурой воздуха в марте (T) за период с 1998 по 2012 гг. коэффициент корреляции равен 0,55, для ключевого участка № 2 между индексом прироста (I) и средней температурой воздуха в марте (T) за период с 2004 по 2012 гг. коэффициент корреляции равен 0,71. Однако, для ключевого участка № 3 для периода с конца 1990-х по начало 2010-х гг. не наблюдается схожих тенденций.

Относительно взаимосвязи между средними температурами других месяцев и индексом прироста (I), можно сказать, что также информативен и апрель (рис. 11), т.к. наряду с февралем коэффициент корреляции между индексом прироста (I) и средней температурой находится примерно в диапазоне 0,1–0,2.

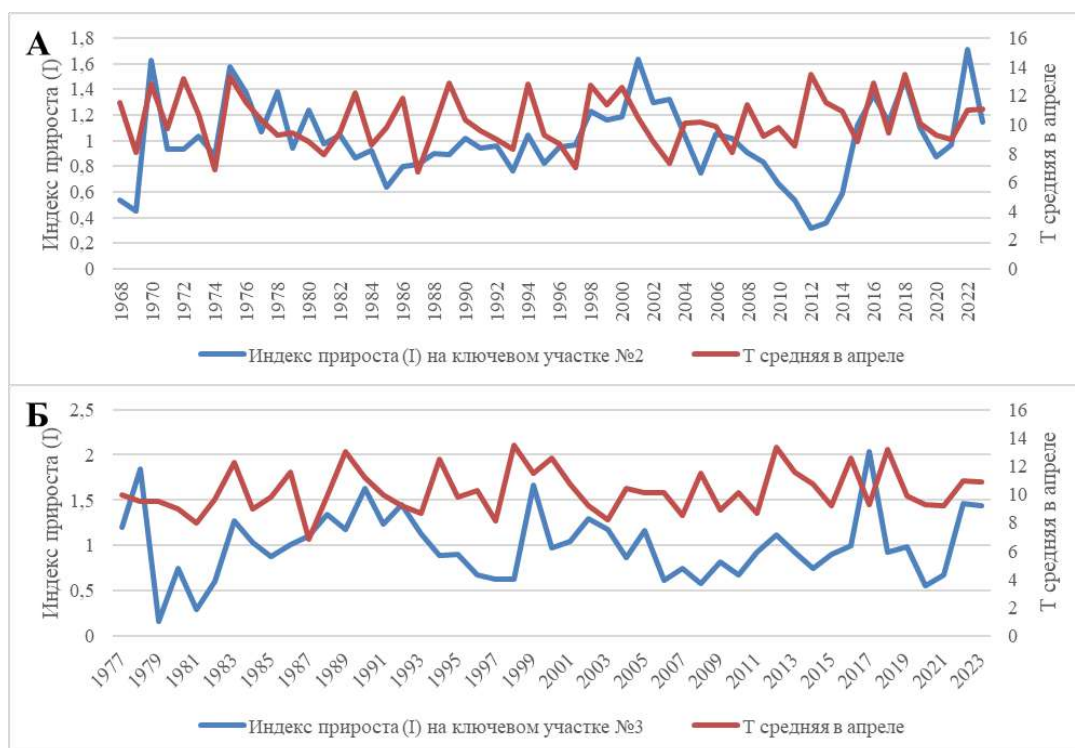


Рис. 11. Изменение индекса прироста (I) и средней температуры воздуха в апреле (T) на ключевых участках: А – № 2 с 1968 по 2023 гг., Б – № 3 с 1977 по 2023 гг.

Fig. 11. Changes in the increment index (I) and average air temperature in April (T) in key areas: А – No. 2 from 1968 to 2023, Б – No. 3 from 1977 to 2023

Для апреля характерно наличие определенных пиковых значений средней температуры, частично совпадающих с пиковыми значениями индекса прироста (I), например, 1970, 1975, 1994, 2016, 2018 гг. для ключевого участка № 2, и 1983, 2012 – для ключевого участка № 3.

Заклучение

Проведенное исследование демонстрирует, что динамика радиального прироста сосны обыкновенной и сосны крымской в Предгорной лесостепи Крыма определяется как внутренними биологическими особенностями деревьев, так и внешними климатическими и биоклиматическими факторами. Полученные дендрохронологические ряды обладают высокой степенью воспроизводимости и синхронности с ранее опубликованными данными.

ми. Установленные для условий Предгорной лесостепи закономерности изменения показателя климатических затрат на почвообразование (Q) в различные климатические периоды, подтверждаются и результатами дендрохронологических исследований, в частности при сравнении изменений показателя Q с изменениями индекса прироста (I). Так, например, снижение средних величин Q ($\text{МДж}/(\text{м}^2 \text{год}^{-1})$) в периоды 1975–1984 гг. (926) и 1992–1998 гг. (789) в целом согласуется со снижением индекса прироста (I) (усредненного по трем ключевым участкам) за эти же периоды с 1,01 до 0,99. Более явно выражено снижение индекса прироста (I) в Гренадерском парке с. Аграрное (с 1,14 до 0,96) и Октябрьском лесопарке у с. Пятихатка (с 0,90 до 0,79), но в массиве искусственных насаждений сосны к северо-западу от с. Яблочное напротив выражен рост индекса прироста (I) (с 0,99 до 1,23). Это может быть обусловлено выдвиганием полосы изолиний в диапазоне 1000–1100 $\text{МДж}/(\text{м}^2 \text{год}^{-1})$ к северу и северо-востоку Крымского полуострова. Была выявлена статистически значимая зависимость между индексом прироста и коэффициентом биоклиматического потенциала Q , рассчитанным ранее для метеостанции Симферополь. Коэффициенты корреляции между этими параметрами для разных участков составили от 0,33 до 0,58, что указывает на заметное влияние биоклиматических условий на прирост древесины. Коэффициенты корреляции между индексом прироста и температурой по месяцам для длительных периодов были невысокими (до 0,23), однако для отдельных хронозон корреляция достигала значимых значений (например, до 0,71 на участке № 2 (Гренадерский парк с. Аграрное) за 2004–2012 гг.). Это свидетельствует о том, что влияние температуры на прирост древесины носит сложный и не всегда линейный характер, проявляясь сильнее в отдельные годы или сезоны.

Список источников

- Средняя температура и осадки по месяцам и годам: Белогорск (Крым, Россия). Электронный ресурс. URL: <https://www.weatherandclimate.eu/history/33966> (дата обращения: 01.04.2025).
Средняя температура и осадки по месяцам и годам: Клепинино (Крым, Россия). Электронный ресурс. URL: <https://www.weatherandclimate.eu/history/33939> (дата обращения: 01.04.2025).
Средняя температура и осадки по месяцам и годам: Симферополь (Крым, Россия). Электронный ресурс. URL: <https://www.weatherandclimate.eu/history/33946> (дата обращения: 01.04.2025).
Тишин Д.В., Чижикова Н.А. 2018. Дендрохронология. Казань, Казанский университет, 34 с.

Список литературы

- Автономов А.Н., Артемьева Г.Н. 2012. Рост культур сосны обыкновенной на склонах разной экспозиции. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 14(1–8): 1946–1949.
Бабушкина Е.А., Кнорре А.А., Ваганов Е.А., Брюханова М.В. 2011. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топоэкологических условий их произрастания. География и природные ресурсы, 1: 159–166.
Вахнина И.Л. 2011. Анализ динамики ширины годичных колец сосны обыкновенной в условиях Восточного Забайкалья. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология, 4(3): 13–17.
Ергина Е.И., Лисецкий Ф.Н., Акулов В.В., Репецкая А.И., Новикова Ю.А. 2012. Дендроклиматические исследования условий произрастания сосны крымской или Палласа – *Pinus pallasiana* D.Don, в Предгорном Крыму. Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География, 25(64(2)): 60–68.
Зборовская О.В., Коваль И.М., Жуковский О.В. 2014. Радиальный прирост *Pinus sylvestris* L. в насаждениях на моренных и водно-ледниковых песчаных отложениях в Украинском Полесье. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 23(194): 25–34.
Кузнецова В.В., Чернокульский А.В., Козлов Ф.А., Кухта А.Е. 2020. Связь линейного и радиаль-

- ного прироста сосны обыкновенной с осадками разного генезиса в лесах Керженского заповедника. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 1: 93–102. <https://doi.org/10.31857/S2587556620010124>
- Лисецкий Ф.Н. 2008. Почвообразовательный потенциал лесных насаждений при облесении песков в условиях лесостепи и степи. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 4: 13–20.
- Лисецкий Ф.Н., Митряйкина А.М. 2012. Анализ дендрохронологических и климатических данных для выявления периодичности природных процессов в зоне лесостепи. В мире научных открытий, 2–3(26): 115–136.
- Лисецкий Ф.Н., Польшина М.А. 2022. Климатический сигнал в радиальном приросте древесины *Fraxinus excelsior* L. в условиях степного умеренноконтинентального климата Северо-западного Крыма. В кн.: Цифровые технологии в лесной отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 19–20 мая 2022. Воронеж, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова: 139–145.
- Лисецкий Ф.Н., Польшина М.А., Буряк Ж.А. 2019. Дендрохронологические и палеопочвенные данные об изменении климата Предгорного Крыма в античную эпоху. В кн.: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 03–05 октября 2019. Воронеж, Цифровая полиграфия: 86–89.
- Лисецкий Ф.Н., Калугина С.В., Польшина М.А. 2023. Анализ динамики радиального прироста *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmb. на разных участках профиля склона. Тимирязевский биологический журнал, 1(1): 59–67. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-59-67>
- Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Украинский П.А. 2024. Геоинформационный анализ климатической обусловленности почвообразования на территории Крымского полуострова. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 30(2): 153–170. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2024-2-30-153-170>
- Литовченко Д.А., Шешнищан С.С., Яковенко Н.В. 2025. Динамика радиального прироста и углерододепонирующей способности сосновых насаждений (*Pinus sylvestris* L.) под влиянием рекреационной нагрузки и климатических изменений в условиях лесостепи. Юг России: экология, развитие, 19(4): 164–177. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-4-14>
- Матвеев С.М., Тимащук Д.А. 2019. Дендроклиматический анализ 200-летнего древостоя сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике. Лесоведение, 2: 93–104. <https://doi.org/10.1134/S0024114819020074>
- Рыгалова Н.В., Плуталова Т.Г. 2021. Оценка связи NDVI степной растительности и радиального прироста сосны ленточных боров в засушливых условиях Юга Западной Сибири. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 27(2): 355–367. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-2-27-355-367>
- Хамидуллина Г.Г., Исаков Ф.Ф., Кулагин А.А., Зайцев Г.А., Давыдычев А.Н. 2014. Зависимость радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) от топоэкологических условий произрастания. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 1(45): 12–14.
- Antonova G.F., Cherkashin V.P., Stasova V.V., Varaksina T.N. 1995. Daily Dynamics in Xylem Cell Radial Growth of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.). Trees, 10: 24–30. <https://doi.org/10.1007/BF00197776>
- Bogino S., Fernández Nieto M.J., Bravo F. 2009. Climate Effect on Radial Growth of *Pinus Sylvestris* at Its Southern and Western Distribution Limits. Silva Fennica, 43(4): 609–623.
- Matskovsky V. 2016. Climatic Signal in Tree-Ring Width Chronologies of Conifers in European Russia. International journal of climatology, 36(9): 3398–3406. <https://doi.org/10.1002/joc.4563>
- Zweifel R., Zimmermann L., Zeugin F., Newbery D.M. 2006. Intra-Annual Radial Growth and Water Relations of Trees: Implications Towards a Growth Mechanism. Journal of experimental botany, 57(6): 1445–1459. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj125>

References

- Avtonomov A.N., Artemyeva G.N. 2012. Growth of Pine Ordinary Cultures on Slopes of Different Exposition. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 14(1–8): 1946–1949 (in Russian).

- Babushkina E.A., Knorre A.A., Vaganov E.A., Bryukhanova M.V. 2011. Transformation of Climatic Response in Radial Increment of Trees Depending on Topoecological Conditions of their Occurrence. *Geography and Natural Resources*, 32(1): 80–86 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1875372811010148>
- Vakhnina I.L. 2011. Tree-Ring Analysis of Common Pine in East Transbaikalia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology*, 4(3): 13–17 (in Russian).
- Ergina E.I., Lisetskiy F.N., Akulow V.V., Repetskaya A.I., Novikova Yu.A. 2012. Dendroclimate Study of Growth Conditions the Crimean Pine in Foothills of Crimea. *Scientific notes of Tauride National V.I. Vernadsky University. Series: Geography Sciences*, 25(64(2)): 60–68 (in Russian).
- Zborovskaya O.V., Koval I.M., Zhukovsky O.V. 2014. Radial Growth of Pinus Sylvestris L. in Stands on Morain and Fluvio-glacial Sand Deposits in Ukrainian Polissya. *Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural Sciences*, 23(194): 25–34 (in Russian).
- Kuznetsova V.V., Chernokulsky A.V., Kozlov F.A., Kukhta A.E. 2020. The Connection between Scots Pine Linear and Radial Increment with Different Genesis' Precipitation in Forests of the Kerzhenskiy Reserve. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 1: 93–102 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556620010124>
- Lisetskiy F.N. 2008. Soil-Formation Potential of Forest Stands Under Sands Afforestation in Forest-Steppe and Steppe Environment. *Bulletin of higher educational institutions. Forestry Journal*, 4: 13–20 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Mitryaykina A.M. 2012. Analysis of Dendrochronological and Climat Data to Identify the Frequency of Natural Processes in the Zone of Forest-Steppe. In *The World of Scientific Discoveries*, 2–3(26): 115–136 (in Russian).
- Lisetskiy F.N., Polshina M.A. 2022. Climate Signal in the Radial Growth of Wood of Fraxinus Excelsior L. Under the Conditions of the Steppe Moderate-Continental Climate of the North-Western Crimea. In: *Digital Technologies in the Forest Industry. Materials of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, 19–20 May 2022. Voronezh, Publ. Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov*: 139–145 (in Russian).
- Lisetskiy F.N., Polshina M.A., Buryak Zh.A. 2019. Dendrokronologicheskiye i paleopochvennyye dannyye ob izmenenii klimata Predgornogo Kryma v antichnuyu epokhu [Dendrochronological and Paleosoil Data on Climate Change in the Crimean Foothills in the Ancient Era]. In: *Globalnyye klimaticheskkiye izmeneniya: regionalnyye efekty, modeli, prognozy [Global Climate Changes: Regional Effects, Models, Forecasts]. Materials of the international scientific and practical conference, Voronezh, 3–5 October 2019. Voronezh, Publ. Digital Printing*: 86–89.
- Lisetskii F.N., Kalugina S.V., Polshina M.A. 2023. Analysis of Radial Growth Dynamics of Pinus Nigra Subsp. Pallasiana (Lamb.) Holmboe in Different Parts of the Slope Profile. *Timiryazev Biological Journal*, 1(1): 59–67 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-1-59-67>
- Lisetskii F.N., Buryak Zh.A., Ukrainskiy P.A. 2024. Geoinformation Analysis of Climatic Conditionality of Soil Formation in the Territory of the Crimea Peninsula. *InterCarto. InterGIS*, 30(2): 153–170 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2024-2-30-153-170>
- Litovchenko D.A., Sheshnitsan S.S., Yakovenko N.V. 2025. Dynamics of Radial Increment and Carbon Sequestration of Pine Forests (Pinus Sylvestris L.) Affected by Recreational Stress and Climate Change in the Forest Steppe, Voronezh Region, Russia. *South of Russia: ecology, development*, 19(4): 164–177 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-4-14>
- Matveev S.M., Timashchuk D.A. 2019. Dendroclimatic Assessment of a 200-Year-Old Scots Pine Stand in the Voronezh Biosphere Reserve. *Contemporary problems of ecology*, 12(7): 682–691 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1995425519070096>
- Rygalova N.V., Plutalova T.G. 2021. Estimation of the Relation of NDVI Steppe Vegetation and Radial Growth of Pine Belt Forests in Arid Conditions of the South of Western Siberia. *InterCarto. InterGIS*, 27(2): 355–367 (in Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-2-27-355-367>
- Khamidullina G.G., Iskhakov F.F., Kulagin A.A., Zaitsev G.A., Davydychev A.N. 2014. Dependence of Scots Pine Radial Increment (Pinus Sylvestris L.) on Topoecological Growth Conditions. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 1(45): 12–14 (in Russian).
- Antonova G.F., Cherkashin V.P., Stasova V.V., Varaksina T.N. 1995. Daily Dynamics in Xylem Cell Radial

- Growth of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.). *Trees*, 10: 24–30. <https://doi.org/10.1007/BF00197776>
- Bogino S., Fernández Nieto M.J., Bravo F. 2009. Climate Effect on Radial Growth of *Pinus Sylvestris* at Its Southern and Western Distribution Limits. *Silva Fennica*, 43(4): 609–623.
- Matskovsky V. 2016. Climatic Signal in Tree-Ring Width Chronologies of Conifers in European Russia. *International journal of climatology*, 36(9): 3398–3406. <https://doi.org/10.1002/joc.4563>
- Zweifel R., Zimmermann L., Zeugin F., Newbery D.M. 2006. Intra-Annual Radial Growth and Water Relations of Trees: Implications Towards a Growth Mechanism. *Journal of experimental botany*, 57(6): 1445–1459. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj125>

*Поступила в редакцию 29.07.2025;
поступила после рецензирования 23.08.2025;
принята к публикации 09.09.2025*

*Received July 29, 2025;
Revised August 23, 2025;
Accepted September 09, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Полетаев Арсений Олегович, кандидат географических наук, инженер отдела нормирования источников загрязнения воздуха Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Arseniy O. Poletaev, Candidate of Geographical Sciences, Engineer of the Department for Air Pollution Sources Standardization of the Federal Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia