

УДК 630*561.21

Л. Ф. Поплавская, С. В. Ребко, П. В. Тупик

Белорусский государственный технологический университет

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
РАЗЛИЧНЫХ ПРОВЕНИЕНЦИЙ**

В статье дается оценка изменения климатических факторов (сумма эффективных температур выше 10°C и сумма осадков), рассмотрено их влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной различного географического происхождения при произрастании климатических экотипов в географических лесных культурах на территории Березинско-Предполесского геоботанического района подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов Республики Беларусь. Показано изменение основных климатических показателей в районе произрастания географических лесных культур сосны обыкновенной по 5-летним периодам исследований. Определена средняя ширина годичных слоев древесины у различных климатических экотипов сосны обыкновенной за более чем полувековой период, выявлены предельные значения их параметров по годам исследований (минимум, максимум, размах), определены коэффициенты вариации исследуемых провениенций сосны обыкновенной по ширине годичного кольца. Рассчитаны коэффициенты корреляции между шириной годичного слоя у различных климатических экотипов сосны обыкновенной с суммой эффективных температур выше 10°C, суммой осадков за вегетационный период, рассеянной солнечной радиацией, высотой снежного покрова, гидротермическим коэффициентом Селянинова. Установлена взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины сосны обыкновенной различных провениенций с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, климатический экотип, радиальный прирост, ширина годичного кольца древесины, ранняя и поздняя древесина.

Для цитирования: Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Изменение климатических факторов и их влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной различных провениенций // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 84–107.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-10.

L. F. Paplauskaya, S. U. Rabko, P. V. Tupik

Belarusian State Technological University

**CHANGES IN CLIMATIC FACTORS AND THEIR IMPACT ON RADIAL
GROWTH OF SCOTS PINE OF DIFFERENT PROVENANCES**

The article provides an assessment of changes in climatic factors (the sum of effective temperatures above 10°C and the sum of precipitation) and studies their influence on the radial growth of Scots pine of different geographical origins when growing climatic ecotypes in geographical forest plantations on the territory of the Berezinsko-Predpolessky geobotanical region of the hornbeam-oak-dark coniferous forest subzone of the Republic of Belarus. The change in the main climatic indicators in the area of growth of geographical forest plantations of Scots pine is shown over 5-year research periods. The average width of annual wood rings in different climatic ecotypes of Scots pine was determined for more than half a century, the limiting values of their parameters were identified by years of research (minimum, maximum, range), and the coefficients of variation of the studied Scots pine provenances by the width of the annual ring were determined. The correlation coefficients between the width of the annual layer in different climatypes of Scots pine with the sum of effective temperatures above 10°C, the sum of precipitation during the growing season, scattered solar radiation, the depth of snow cover, and the Selyaninov hydrothermal coefficient were calculated. A relationship has been established between the index of the annual ring width of Scots pine wood of various provenances and the indices of the sum of effective temperatures above 10°C and the sum of precipitation during the growing season.

Keywords: Scots pine, climatic ecotype, radial growth, width of annual wood ring, early and late wood.

For citation: Paplauskaya L. F., Rabko S. U., Tupik P. V. Changes in climatic factors and their impact on radial growth of Scots pine of different provenances. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 84–107 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-10.

Введение. Для изучения географической изменчивости видов древесных растений, которые имеют обширный ареал распространения, создают географические лесные культуры. Под влиянием климата, почв, продолжительности вегетационного периода, светового периода у древесных пород с обширным ареалом произрастания сформировались наследственные географические расы, или климатические экотипы (климатипы). При произрастании в других климатических условиях ряд признаков и свойств, присущих климатипам, сохраняется. Вместе с тем новые условия произрастания оказывают влияние на рост и развитие растений. Наиболее важные проблемы, с которыми сталкиваются лесоводы, требуют выяснения роли различных факторов внешней среды на рост многолетних древесных растений.

Согласно закону минимума, сформулированному Либихом (Liebich, 1843) и позднее измененному Блэкманом (Blackman, 1905) и Митчерлихом (Mitscherlich, 1909), предполагается, что если на рост растений влияет ряд отдельных факторов, его интенсивность будет ограничена тем фактором, который имеется в меньшем количестве. Однако впоследствии многими исследователями было доказано, что факторы, ограничивающие рост, действуют в комплексе внешних условий. Исследования, проведенные Фритсом (Frits, 1958), показали, что около 50% различий в росте бука по диаметру было вызвано изменением максимальной температуры и влажности почвы. При этом изменение температуры было важным весной, а влажность почвы – летом. Третьим фактором по важности была относительная влажность воздуха, затем интенсивность солнечного света и количество осадков [1].

В настоящее время изменения климата стали общепризнанным фактом, они отмечаются практически во всех природных зонах и фиксируются по всем компонентам экосистем. Наблюдаются изменения режима атмосферных осадков в различных регионах мира и в этой связи отмечается варьирование температуры приземного воздуха. Глобальное повышение температуры воздуха может привести к уменьшению снегового запаса, речного стока, почвенной влаги, увеличению засушливости и другим негативным последствиям. Древесная растительность является достоверным индикатором преобразования природной среды и климата. В связи с этим в дендроэкологических исследованиях широко используется метод древесно-кольцевого анализа, который позволяет оценить реакцию радиального прироста деревьев на изменения основных климатических факторов – температуры воздуха и осадков [2].

Анализ роста климатических экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах позволяет выявить их адаптацию к новым

условиям произрастания и установить перспективные из них для дальнейшего использования при лесоразведении и лесовосстановлении. Одним из наиболее важных показателей адаптации древесных видов к изменившимся условиям произрастания является радиальный прирост деревьев. Изучение реакции ширины годичного слоя на погодные условия позволяет выявить лимитирующие факторы на формирование запаса древесины определенных географических рас. Результаты, полученные в Швеции и Финляндии, положены в основу моделей для прогнозирования влияния климатических факторов на запас древесины и сохранность потомства сосны обыкновенной при перемещении семян. В географических лесных культурах сосны обыкновенной в Латвии исследование ширины годичного слоя показало, что климатипы из более теплых мест произрастания имеют меньшую чувствительность роста к погодным условиям и более устойчивы к неблагоприятным погодным условиям из-за способности использовать более длинный вегетационный период [3, 4].

Исследованиями Н. С. Воробьева, А. А. Епешкова и Д. В. Белоброва установлено, что на прирост сосны обыкновенной оказывают выраженное положительное влияние температуры января, при этом недостаток осадков в июле ведет к формированию экстремально узких годичных колец. Также выявлено, что в динамике индексов радиального прироста присутствует выраженная периодическая составляющая с периодом 12,3 года, при этом связь индексов прироста с солнечной активностью имеет разный характер на разных временных интервалах [5].

А. Е. Кухта, О. В. Максимова, В. В. Кузнецова установили, что по рядам радиальных приростов сосны обыкновенной возможно проводить наблюдения за типичным поведением изменчивости деревьев вне зависимости от типа биотопа. Это дает основание к осуществлению долгосрочного ретроспективного анализа взаимоотношений древостоев и среды с использованием древесно-кольцевых хронологий без учета условий произрастания. Авторами подтверждена роль осадков как лимитирующего фактора для радиальных и линейных приростов в ходе фенофазы роста междуузлий и развития ранней древесины. Лимитирующая роль температур обнаружена для радиальных приростов лишь на этапах формирования поздней древесины и накопления ресурсов для роста в следующем вегетационном сезоне [6].

О. С. Железновой и С. А. Тобратовым проанализированы закономерности радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных топоэкологических условиях Мещерской низменности (Рязанская область России), результатом которых стало построение обобщенных

хронологий для 16 местообитаний, отличающихся особенностями рельефа дневной поверхности и коренных пород. Несмотря на относительно мало-контрастный рельеф, средний прирост по диаметру сосны обыкновенной в пределах территории исследования различается в 2,5 раза (1,5–3,9 мм/год). Показано, что ключевым фактором, влияющим на ширину годичных колец сосны, является количество доступной почвенной влаги. Как ее избыток (в условиях болот), так и недостаток (в местообитаниях, приуроченных к песчаным массивам) негативно сказываются на величине радиального прироста. Установлено, что в переувлажненных местообитаниях наблюдается положительная корреляция прироста сосны с температурой и отрицательная – с осадками осени предыдущего года. Для сосны обыкновенной из засушливых местообитаний типична положительная корреляция прироста с осадками осени, мая и с температурой зимы. Отрицательная связь прироста болотных сосен с количеством осадков и стоком может проявляться с лагом 1–4 года [7].

С. Р. Кузьминым и Р. В. Роговцевым установлено, что условия в южной тайге Средней Сибири по сравнению с лесостепью в Западной Сибири способствуют более отчетливо выраженным различиям между климатическими сосны обыкновенной, которые проявляются в достижении максимальных приростов по диаметру в разном возрасте, в средних значениях ширины годичного кольца и доли поздней древесины, а также в разной реакции поздней древесины на погодные условия [8].

И. В. Никифоровичем с соавторами методами корреляционного анализа выявлено, что в условиях Ленинградской области России среднегодовые температура воздуха и количество осадков оказывают куда большее влияние на величину радиального прироста сосны обыкновенной, чем эти климатические показатели за вегетационный период или за июль [2].

В. А. Симоненковой и А. Ю. Кулагиним получены результаты оценки радиального прироста сосны обыкновенной на зональном экотоне леса и степи России. Установлено, что в условиях экотона изменения в окружающей среде приводят к значительным изменениям в экосистемах. В таких ситуациях адаптивные реакции лесообразующих видов древесных растений, по мнению авторов, обеспечивают устойчивость экосистем в изменяющихся условиях окружающей среды. Динамика радиального прироста деревьев в условиях зонального экотона позволяет прогнозировать состояние лесных насаждений. Результаты измерений радиального прироста сосны обыкновенной на зональном экотоне леса и степи подтверждают тесную связь деятельности камбия с количеством атмосферных осадков, которая наиболее отчетливо проявляется в минимальной ширине древесных

колец при минимуме осадков в текущем или предыдущем сезоне вегетации. Недостаток увлажнения является одним из лимитирующих факторов для прироста сосны обыкновенной [9].

Р. Т. Шереметовым и В. И. Уфимцевым [10] изучено влияние температуры воздуха на радиальный прирост сосны обыкновенной как один из важных экологических факторов, определяющих прирост деревьев на отвалах угольных предприятий Кузбасса. Проведен анализ корреляционных связей радиального прироста со среднемесячной температурой и суммами положительных температур как вегетационного, так и предшествующего ему осенне-зимнего периода в условиях техногенного воздействия. Авторами установлено, что вклад тепловых условий в годичный прирост сосны обыкновенной на отдельных этапах осенне-зимнего и вегетационного периодов не равномерный. Существенные различия проявляются по температуре и между исследованными площадками. Наибольшее значение в осенне-зимний этап имеют температурные условия октября, когда средняя месячная температура колеблется от 5 до 0°C (в среднем 33%). В зимнее время наибольшее влияние оказывает температура февраля, который часто бывает самым холодным месяцем в году (22%). В целом наиболее существенными для динамики годичного прироста являются температурный режим осени и начала зимы (59%). Исследования влияния температурных условий текущего и предшествующего месяцев осенне-зимнего времени значимых корреляционных связей с приростом не выявили. Значения термических условий отдельных этапов вегетационного периода для годичного прироста существенно различаются. Наибольшее значение для прироста имеет температура мая (38%) и августа (26%). Существенного влияния температуры июня и июля, а также суммарного вклада температуры за период с мая по август не выявлено. Значимый вклад в прирост сосны вносит суммарная величина средних температур мая и июня (31%) и еще больший – августа и сентября (49%). Оценка тесноты связи годичного прироста с суммой положительных температур показала, что влияние тепловых ресурсов августа (43%) более чем в 2 раза превышает влияние мая (18%).

С. А. Лысенко и В. Ф. Логиновым проведен анализ связи лесистости и количества летних осадков на территории Беларуси. Показано, что пространственная структура многолетнего поля осадков во многом объясняется пространственными особенностями ее лесного покрова. В районах с высокой лесистостью летом выпадает на 5–15% больше осадков, чем на обезлесенной местности. После экстремально засушливых 2014–2015 гг. произошла существенная трансформация поля летних осадков: оно стало практически зеркально

противоположным полю летней температуры воздуха, что свидетельствует о важной роли местного испарения в формировании осадков в летние месяцы. Для предотвращения дальнейшего снижения уровня поверхностных и грунтовых вод в Беларуси необходимы дополнительные площади лесонасаждений, способные уменьшить поверхностный сток в холодный период года [11].

С. А. Лысенко для региона Белорусского Полесья (юг Беларуси) получены оценки изменений микроклимата в результате повторного заболачивания земель на основе мезомасштабной гидродинамической модели WRF (Weather Research and Forecasting), балансовой модели атмосферной влаги и данных дистанционного зондирования Земли. По результатам моделирования (в численных экспериментах рассмотрены наиболее засушливые летние периоды последних двух десятилетий) построены карты изменений среднесуточной температуры, амплитуды суточного хода температуры, суммарного испарения и атмосферных осадков, которые могут использоваться для прогнозирования последствий мелиорации в различных сценариях адаптации к изменению климата [12].

Рядом ученых также проведены исследования по изучению эколого-климатических откликов и построению закономерностей изменчивости временных рядов радиального прироста сосны обыкновенной [13–16].

Цель наших исследований – выявить влияние климатических факторов на изменения радиального прироста у 17 потомств сосны обыкновенной 60-летнего возраста, произрастающих в географических культурах Негорельского учебно-опытного лесхоза, расположенного в пределах Березинско-Предполесского геоботанического района подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов.

Среди климатических показателей, влияющих на рост сосны различных географических экотипов были выбраны сумма эффективных температур выше 10°C за вегетационный период (с апреля по октябрь), сумма осадков и суммарная солнечная радиация. Материалы изменения климатических показателей с 1968 по 1985 г. по сумме эффективных температур и осадкам были взяты из данных метеостанции Негорельского учебно-опытного лесхоза, а с 1986 по 2021 г. – по метеостанции «Столбцы». Данные по суммарной солнечной радиации за 1968–2021 гг. взяты по метеостанции «Минск».

Изменение ширины годичного слоя и доли в нем поздней древесины изучали по модельным деревьям. У каждого климатипа были отобраны по три модели, которые соответствовали средним показателям климатипа по диаметру и высоте с хорошей очищаемостью от сучьев.

Лучшими показателями роста как по высоте, так и по диаметру характеризуются прибалтий-

ские (латвийский, эстонский) и витебский климатипы. Северные климатипы (архангельский, ленинградский, вологодский) имеют медленный рост, особенно в высоту, образуют более сбежистые стволы. Южные климатипы образуют полндревесные стволы (коэффициент формы составляет $0,72\text{--}0,74$) и имеют средний рост как по высоте, так и по диаметру. Анализ изменения климатических показателей проводили по пятилетним периодам.

Основная часть. Для успешного роста растений, в том числе и древесных, важным показателем является сумма эффективных температур выше 10°C за вегетационный период. Анализируя изменение данного показателя за 60-летний период роста географических культур сосны обыкновенной, можно сделать вывод о постепенном его увеличении с $2124,4^{\circ}\text{C}$ в первом периоде до $2914,1^{\circ}\text{C}$ в период с 2016 по 2021 г. (табл. 1). Минимальная сумма эффективных температур выше 10°C зафиксирована в 1978 г., когда этот показатель был равным $1710,8^{\circ}\text{C}$ или только $69,9\%$ от средней многолетней величины за период наблюдений. Максимальная теплообеспеченность за вегетационный период отмечена в 2020 г., сумма эффективных температур выше 10°C в этом году составила $3791,6^{\circ}\text{C}$, что превысило среднюю многолетнюю норму на 55% .

Наиболее существенное повышение суммы эффективных температур выше 10°C наблюдается в последние 20 лет, начиная с 2001 г. (рис. 1). Сумма осадков за наблюдаемый период распределена более равномерно, однако и здесь наряду с периодами обильных осадков встречаются засушливые годы. Периоды с минимальным количеством осадков отмечены с 1991 по 2000 г. Сумма осадков за вегетационный период в этот десятилетний интервал составляла $368,7\text{--}385,2$ мм.

В это десятилетие встречались годы с минимальным количеством осадков – в 1995 г. сумма осадков составила $252,4$ мм, в 1999 г. – $248,6$ мм. Максимальное количество осадков за вегетационный период отмечено в 1998 г. ($631,6$ мм).

Анализ радиального прироста за 60-летний период показал значительные различия данного показателя у исследуемых климатипов (табл. 2, рис. 2–17). У сосны обыкновенной северного происхождения (архангельский, вологодский климатипы) максимальная ширина годичного слоя наблюдается в возрасте 30–35 лет. Начиная с 50-летнего возраста происходит резкое снижение радиального прироста (рис. 2, 5).

У томского климатипа, который относится к сибирскому подвиду сосны обыкновенной, максимальный прирост формируется на 10 лет раньше (в 20-летнем возрасте) и продолжается на протяжении последующих 30 лет (рис. 4).

Таблица 1

Изменение основных климатических показателей в районе произрастания географических культур сосны обыкновенной

Климатический показатель	Период										
	1968–1970	1971–1975	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2021
Сумма эффективных температур выше 10°C за вегетационный период с апреля по октябрь, °C	2088,4	2303,6	1947,0	2367,9	2288,4	2431,7	2372,1	3122,3	2842,9	2652,9	2682,3
	2105,4	2432,7	1950,8	2088,4	1869,3	2469,2	2270,2	2818,5	2596,9	2722,5	2460,2
	2180,5	2061,8	1710,4	2508,9	2463,2	2286,9	2373,7	2486,2	2388,2	2742,6	3103,8
		1956,8	2143,8	2146,1	2500,6	2441,8	2754,0	2364,2	2421,6	2637,0	2881,7
		2567,7	2016,5	2244,1	2153,3	2603,2	2566,2	2631,3	2759,2	2591,0	3791,6
Среднее значение	2124,7	2264,5	1953,7	2274,0	2254,9	2446,5	2460,3	2684,5	2617,2	2644,4	2914,1
Сумма осадков за вегетационный период с апреля по октябрь, мм	422,2	356,9	318,0	491,7	439,9	329,8	346,3	538,3	511,2	418,0	541,2
	559,0	414,5	561,1	529,9	394,4	383,7	334,6	393,2	327,8	565,7	582,1
	558,4	532,0	527,2	302,2	380,7	454,5	631,6	401,5	467,8	404,4	387,3
		533,0	364,0	323,8	500,8	423,3	248,6	423,9	447,3	494,1	376,6
		412,2	466,4	516,8	454,8	252,4	365,2	310,9	475,9	412,6	339,0
Среднее значение	513,2	449,7	447,3	434,0	434,1	368,7	385,2	413,5	446,0	458,9	519,0

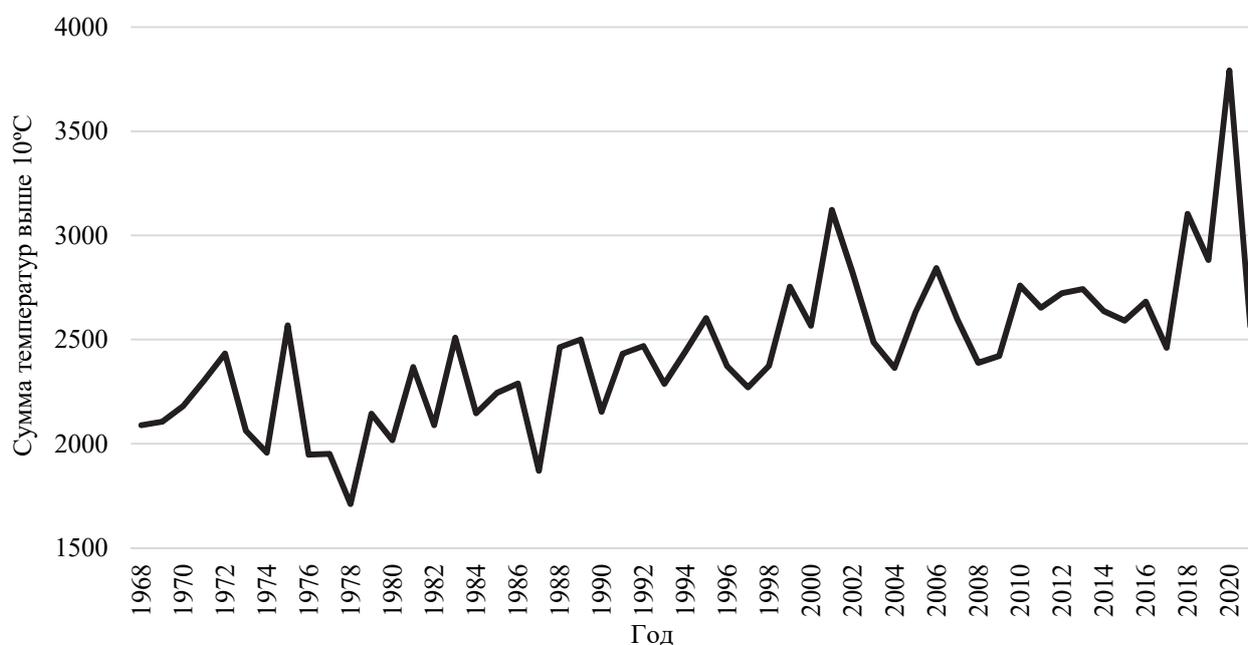


Рис. 1. Изменение суммы эффективных температур выше 10°C по годам исследований

Снижение радиального прироста ниже среднего отмечается в возрасте 55 лет.

Формирование годичного слоя в период раннего возраста происходит в основном за счет ранней древесины, которая формируется в первой половине вегетации.

С возрастом в годичном слое возрастает доля поздней древесины – к 60 годам у архангельского, вологодского, ленинградского и томского климатипов она составляет более 50%. Средний возраст максимального радиального прироста у южных климатипов курского, белгородского, волгоградского, ростовского, полтавского происхождений отмечается в 10 лет и продолжается до 30–35-летнего возраста.

В 40-летнем возрасте происходит значительное сокращение радиального прироста. Наиболее раннее снижение радиального прироста отмечено у ростовского климатипа, ширина годичного слоя которого в возрасте 15 лет не превышала 2 мм. У курского, белгородского, волгоградского и полтавского происхождений также наблюдается снижение радиального прироста, однако оно проходит постепенно и до 30-летнего возраста превышает показатели среднего прироста за весь период наблюдения. Башкирский и ульяновский климатипы, также имеют максимальный прирост в возрасте 10–15 лет. Значительное снижение наблюдается у этих климатипов уже в 20–25-летнем возрасте.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между шириной годичного слоя различных климатипов сосны обыкновенной с суммой эффективных температур выше 10°C (над чертой) и суммой осадков (под чертой)

Климатип	Период											
	1968–1970	1971–1975	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2021	За весь период
Архангельский	<u>-0,61</u> <u>0,99</u>	<u>-0,71</u> <u>0,30</u>	<u>-0,52</u> <u>0,46</u>	<u>-0,04</u> <u>0,56</u>	<u>0,39</u> <u>0,81</u>	<u>0,14</u> <u>-0,35</u>	<u>-0,69</u> <u>-0,07</u>	<u>0,04</u> <u>0,86</u>	<u>0,29</u> <u>0,85</u>	<u>0,68</u> <u>-0,08</u>	<u>-0,58</u> <u>0,76</u>	<u>-0,10</u> <u>-0,41</u>
Ленинградский	<u>0,20</u> <u>-0,62</u>	<u>0,31</u> <u>-0,78</u>	<u>0,18</u> <u>-0,01</u>	<u>0,47</u> <u>-0,63</u>	<u>-0,33</u> <u>0,44</u>	<u>-0,18</u> <u>0,08</u>	<u>0,51</u> <u>0,07</u>	<u>-0,24</u> <u>-0,56</u>	<u>0,26</u> <u>0,43</u>	<u>0,29</u> <u>-0,31</u>	<u>-0,20</u> <u>-0,44</u>	<u>-0,02</u> <u>0,12</u>
Томский	<u>0,96</u> <u>0,81</u>	<u>0,13</u> <u>0,20</u>	<u>-0,55</u> <u>-0,21</u>	<u>0,54</u> <u>-0,58</u>	<u>-0,47</u> <u>0,06</u>	<u>-0,23</u> <u>0,10</u>	<u>-0,32</u> <u>-0,30</u>	<u>0,16</u> <u>0,21</u>	<u>-0,31</u> <u>-0,26</u>	<u>0,71</u> <u>0,02</u>	<u>-0,68</u> <u>0,78</u>	<u>-0,09</u> <u>-0,46</u>
Вологодский	<u>-0,04</u> <u>-0,79</u>	<u>0,04</u> <u>0,09</u>	<u>-0,71</u> <u>0,65</u>	<u>-0,42</u> <u>0,16</u>	<u>0,56</u> <u>0,81</u>	<u>-0,59</u> <u>0,72</u>	<u>0,58</u> <u>-0,14</u>	<u>-0,08</u> <u>0,51</u>	<u>-0,02</u> <u>-0,11</u>	<u>-0,72</u> <u>0,08</u>	<u>0,20</u> <u>-0,41</u>	<u>0,05</u> <u>-0,08</u>
Эстонский	–	–	<u>-0,67</u> <u>0,40</u>	<u>0,55</u> <u>-0,19</u>	<u>0,21</u> <u>0,25</u>	<u>0,62</u> <u>-0,74</u>	<u>-0,41</u> <u>0,46</u>	<u>0,34</u> <u>-0,49</u>	<u>0,39</u> <u>0,45</u>	<u>0,42</u> <u>-0,52</u>	<u>0,31</u> <u>0,84</u>	<u>-0,64</u> <u>-0,05</u>
Латвийский	<u>-0,83</u> <u>-0,11</u>	<u>-0,03</u> <u>-0,50</u>	<u>-0,47</u> <u>0,67</u>	<u>0,27</u> <u>-0,46</u>	<u>0,09</u> <u>0,66</u>	<u>0,39</u> <u>-0,47</u>	<u>-0,10</u> <u>0,76</u>	<u>-0,01</u> <u>-0,91</u>	<u>-0,30</u> <u>0,13</u>	<u>0,79</u> <u>0,54</u>	<u>-0,83</u> <u>0,55</u>	<u>0,01</u> <u>0,23</u>
Витебский	<u>0,70</u> <u>0,99</u>	<u>-0,02</u> <u>-0,07</u>	<u>0,38</u> <u>-0,79</u>	<u>0,77</u> <u>-0,64</u>	<u>-0,02</u> <u>0,30</u>	<u>0,14</u> <u>-0,14</u>	<u>-0,07</u> <u>-0,02</u>	<u>0,08</u> <u>0,93</u>	<u>-0,57</u> <u>0,39</u>	<u>-0,31</u> <u>-0,45</u>	<u>-0,57</u> <u>0,18</u>	<u>-0,09</u> <u>-0,14</u>
Минский	<u>-0,96</u> <u>-0,42</u>	<u>-0,37</u> <u>-0,02</u>	<u>-0,56</u> <u>0,69</u>	<u>0,19</u> <u>0,13</u>	<u>0,54</u> <u>0,47</u>	<u>0,74</u> <u>0,70</u>	<u>0,51</u> <u>0,45</u>	<u>-0,71</u> <u>-0,51</u>	<u>-0,27</u> <u>-0,55</u>	<u>0,61</u> <u>-0,11</u>	<u>-0,05</u> <u>-0,23</u>	<u>-0,08</u> <u>0,04</u>
Ульяновский	<u>-0,99</u> <u>-0,59</u>	<u>0,18</u> <u>-0,65</u>	<u>-0,35</u> <u>0,23</u>	<u>-0,38</u> <u>0,74</u>	<u>0,48</u> <u>0,62</u>	<u>0,04</u> <u>-0,16</u>	<u>-0,24</u> <u>0,81</u>	<u>-0,55</u> <u>-0,14</u>	<u>0,87</u> <u>0,11</u>	<u>0,21</u> <u>-0,18</u>	<u>-0,85</u> <u>0,55</u>	<u>-0,14</u> <u>-0,31</u>
Башкирский	<u>0,25</u> <u>-0,57</u>	<u>0,54</u> <u>-0,12</u>	<u>0,31</u> <u>-0,87</u>	<u>-0,72</u> <u>0,28</u>	<u>-0,73</u> <u>-0,60</u>	<u>0,10</u> <u>-0,43</u>	<u>0,57</u> <u>0,40</u>	<u>0,80</u> <u>0,73</u>	<u>-0,43</u> <u>0,65</u>	<u>0,83</u> <u>0,29</u>	<u>0,41</u> <u>-0,33</u>	<u>-0,18</u> <u>-0,56</u>
Гродненский	<u>-0,78</u> <u>-0,98</u>	<u>0,01</u> <u>-0,41</u>	<u>0,59</u> <u>-0,09</u>	<u>0,01</u> <u>0,15</u>	<u>-0,26</u> <u>0,20</u>	<u>0,35</u> <u>-0,62</u>	<u>-0,63</u> <u>0,40</u>	<u>-0,21</u> <u>-0,76</u>	<u>0,61</u> <u>-0,06</u>	<u>-0,64</u> <u>0,40</u>	<u>0,08</u> <u>-0,08</u>	<u>-0,18</u> <u>-0,62</u>
Курский	<u>0,59</u> <u>0,99</u>	<u>0,55</u> <u>-0,81</u>	<u>-0,77</u> <u>0,31</u>	<u>0,78</u> <u>-0,04</u>	<u>-0,75</u> <u>-0,62</u>	<u>-0,61</u> <u>0,60</u>	<u>0,60</u> <u>-0,89</u>	<u>-0,04</u> <u>0,92</u>	<u>0,92</u> <u>0,19</u>	<u>-0,47</u> <u>-0,10</u>	<u>-0,66</u> <u>0,63</u>	<u>-0,15</u> <u>-0,71</u>
Белгородский	<u>0,99</u> <u>0,54</u>	<u>0,48</u> <u>-0,26</u>	<u>0,08</u> <u>0,59</u>	<u>0,01</u> <u>-0,54</u>	<u>-0,12</u> <u>-0,37</u>	<u>-0,07</u> <u>0,30</u>	<u>-0,86</u> <u>0,16</u>	<u>-0,01</u> <u>0,84</u>	<u>-0,78</u> <u>-0,47</u>	<u>0,52</u> <u>0,27</u>	<u>0,16</u> <u>0,49</u>	<u>0,01</u> <u>-0,61</u>
Волгоградский	<u>0,77</u> <u>0,01</u>	<u>-0,73</u> <u>0,42</u>	<u>-0,72</u> <u>0,07</u>	<u>0,32</u> <u>0,06</u>	<u>0,22</u> <u>0,46</u>	<u>0,41</u> <u>-0,70</u>	<u>0,67</u> <u>-0,70</u>	<u>0,43</u> <u>0,52</u>	<u>-0,62</u> <u>-0,22</u>	<u>0,86</u> <u>0,14</u>	<u>-0,41</u> <u>0,78</u>	<u>-0,21</u> <u>-0,54</u>
Ростовский	<u>-0,91</u> <u>-0,89</u>	<u>0,15</u> <u>-0,10</u>	<u>-0,05</u> <u>-0,64</u>	<u>0,32</u> <u>-0,44</u>	<u>0,23</u> <u>0,31</u>	<u>0,40</u> <u>-0,28</u>	<u>0,38</u> <u>0,44</u>	<u>-0,57</u> <u>-0,57</u>	<u>-0,14</u> <u>0,68</u>	<u>-0,23</u> <u>-0,48</u>	<u>-0,56</u> <u>0,83</u>	<u>-0,13</u> <u>-0,32</u>
Хмельницкий	<u>-0,44</u> <u>-0,47</u>	<u>0,09</u> <u>-0,53</u>	<u>0,26</u> <u>0,03</u>	<u>-0,40</u> <u>0,10</u>	<u>-0,59</u> <u>-0,44</u>	<u>-0,21</u> <u>0,31</u>	<u>-0,85</u> <u>0,56</u>	<u>-0,62</u> <u>-0,41</u>	<u>-0,12</u> <u>-0,24</u>	<u>0,70</u> <u>0,32</u>	<u>-0,12</u> <u>-0,33</u>	<u>-0,03</u> <u>-0,07</u>
Полтавский	<u>-0,93</u> <u>-0,87</u>	<u>0,14</u> <u>0,01</u>	<u>0,13</u> <u>-0,14</u>	<u>-0,42</u> <u>-0,48</u>	<u>-0,31</u> <u>-0,09</u>	<u>0,19</u> <u>-0,46</u>	<u>0,46</u> <u>-0,59</u>	<u>0,61</u> <u>0,22</u>	<u>-0,71</u> <u>0,19</u>	<u>0,57</u> <u>0,20</u>	<u>-0,57</u> <u>0,70</u>	<u>-0,14</u> <u>-0,61</u>

Примечание. Полужирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, статистически достоверно подтверждающие имеющийся уровень корреляционной связи.

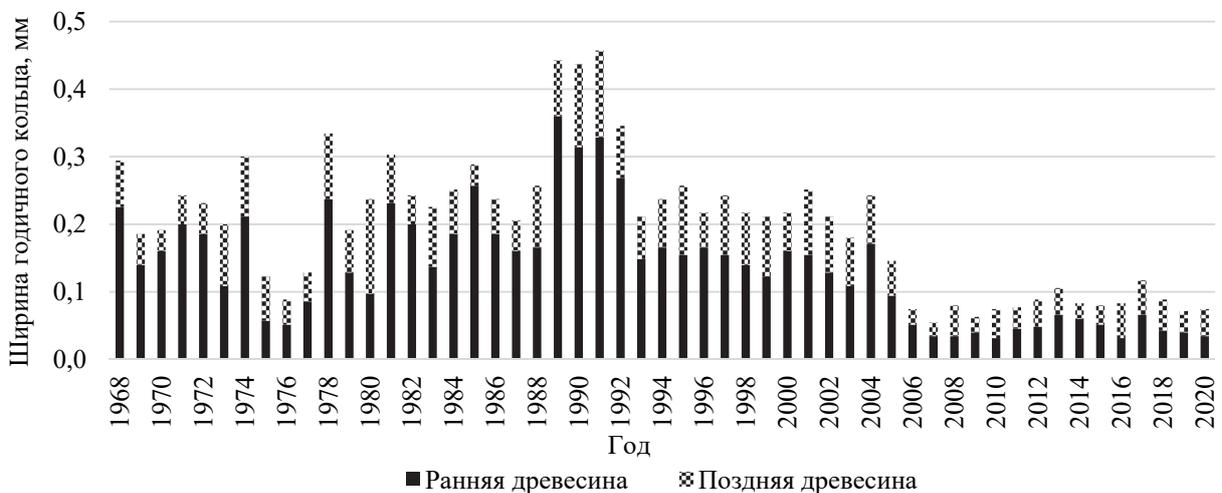


Рис. 2. Изменение ширины годичного слоя древесины архангельского климатипа сосны обыкновенной

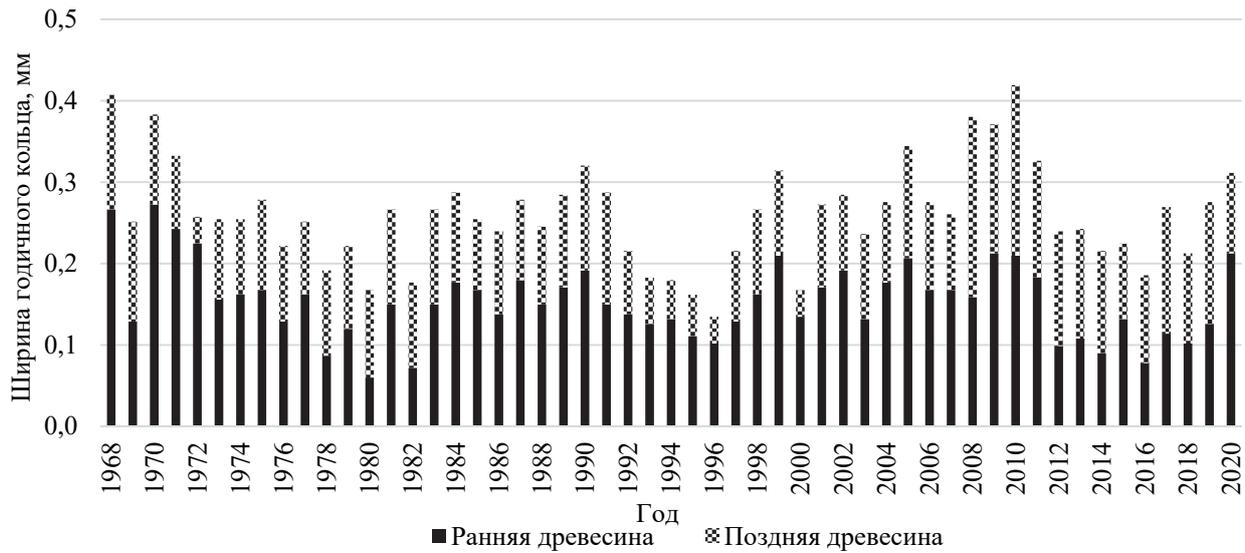


Рис. 3. Изменение ширины годичного слоя древесины ленинградского климатипа сосны обыкновенной

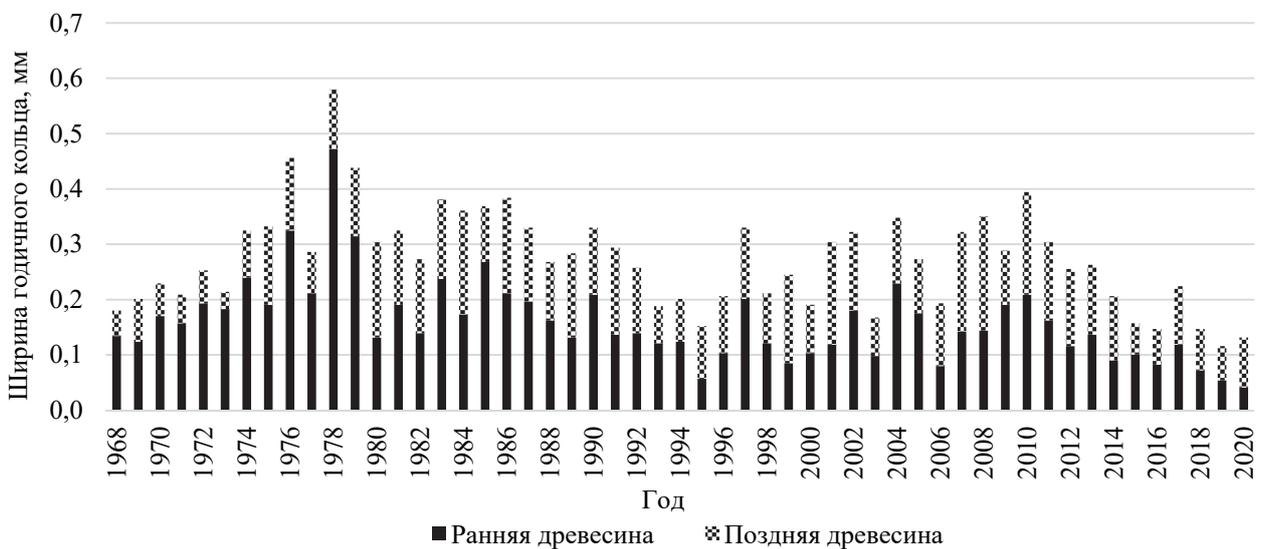


Рис. 4. Изменение ширины годичного слоя древесины томского климатипа сосны обыкновенной



Рис. 5. Изменение ширины годичного слоя древесины вологодского климатипа сосны обыкновенной

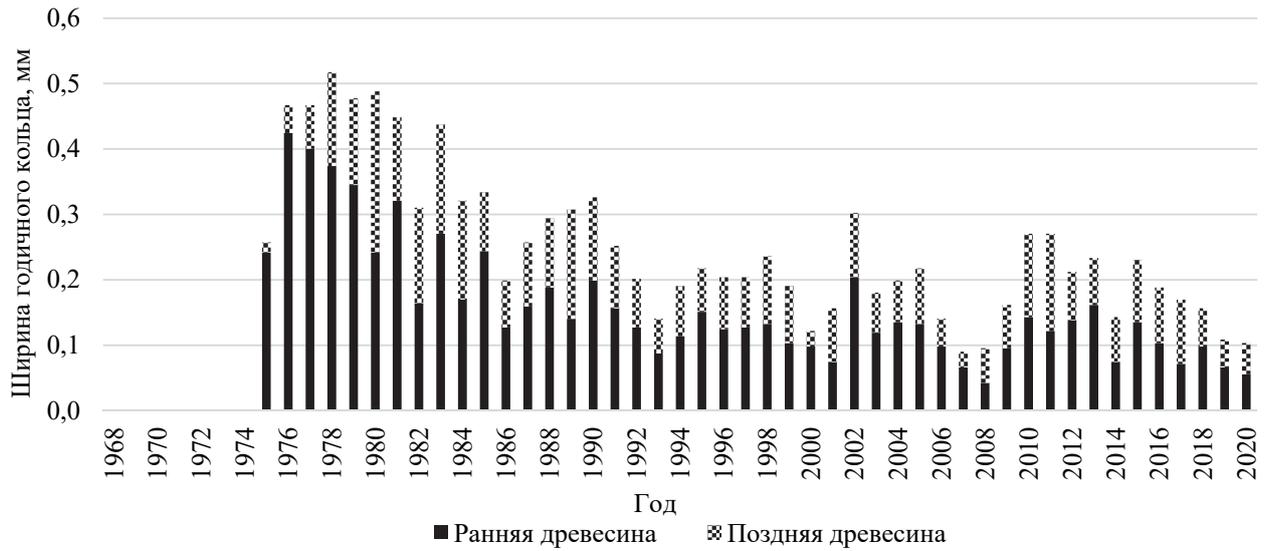


Рис. 6. Изменение ширины годичного слоя древесины эстонского климатипа сосны обыкновенной

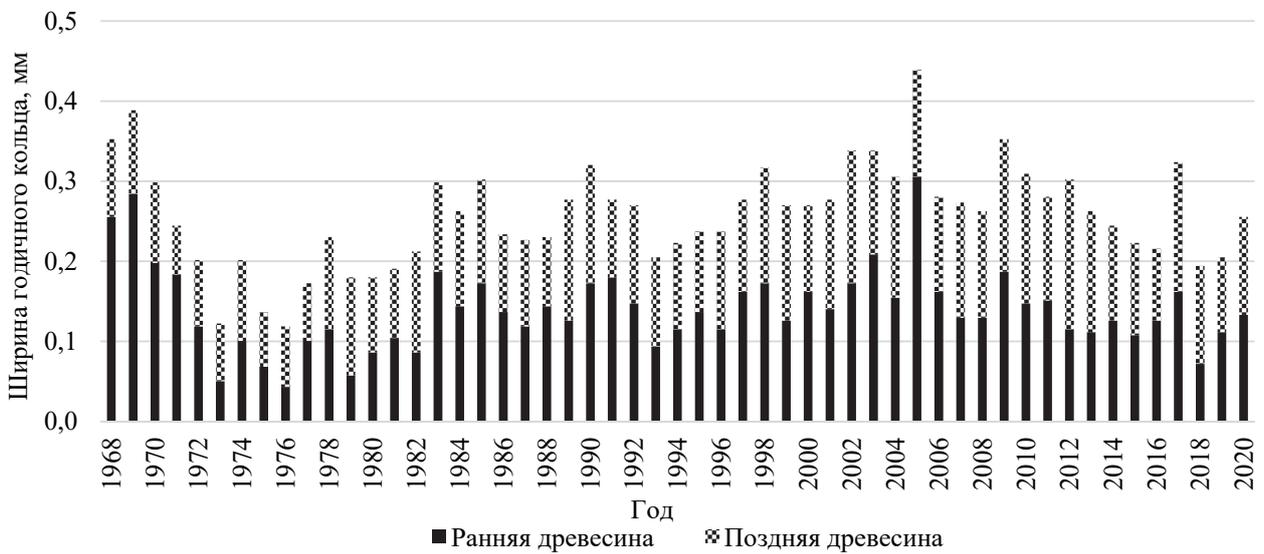


Рис. 7. Изменение ширины годичного слоя древесины латвийского климатипа сосны обыкновенной

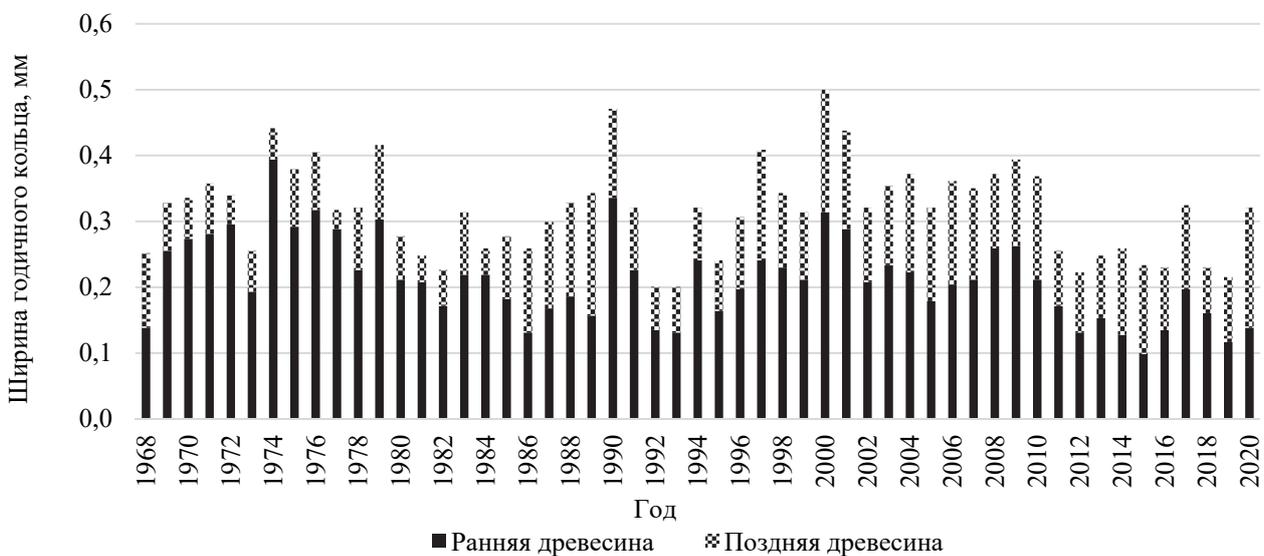


Рис. 8. Изменение ширины годичного слоя древесины витебского климатипа сосны обыкновенной

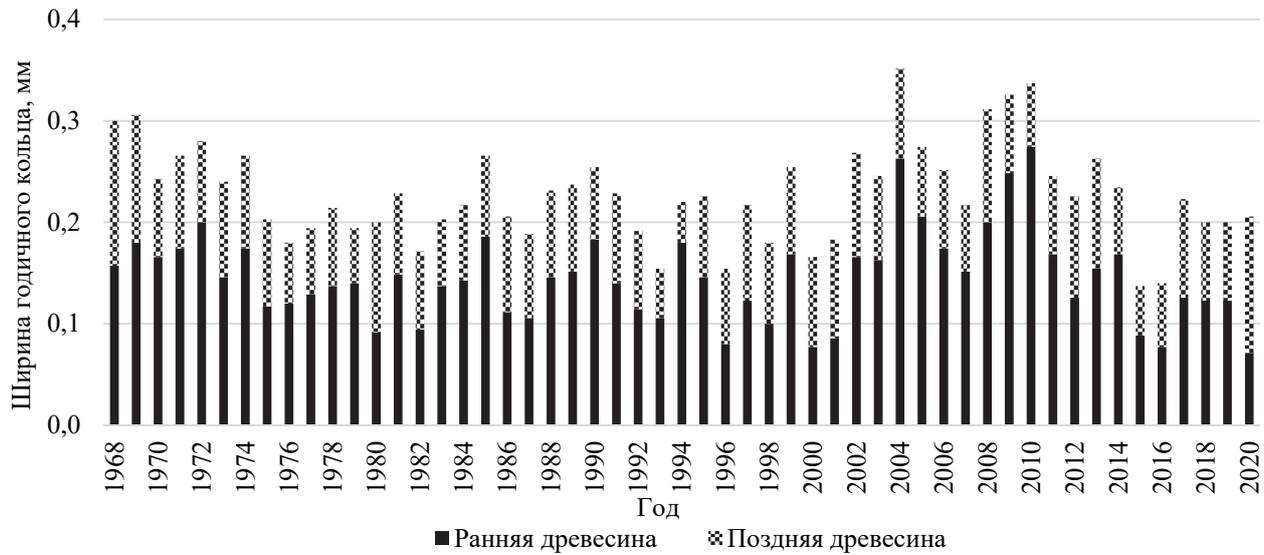


Рис. 9. Изменение ширины годичного слоя древесины минского климатипа сосны обыкновенной

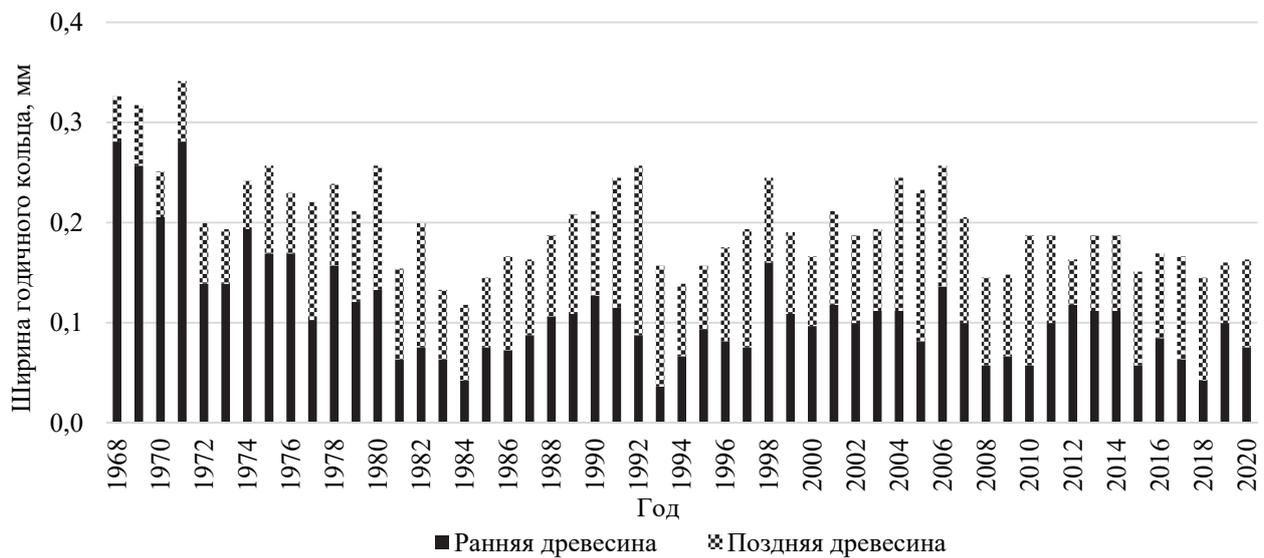


Рис. 10. Изменение ширины годичного слоя древесины ульяновского климатипа сосны обыкновенной



Рис. 11. Изменение ширины годичного слоя древесины башкирского климатипа сосны обыкновенной

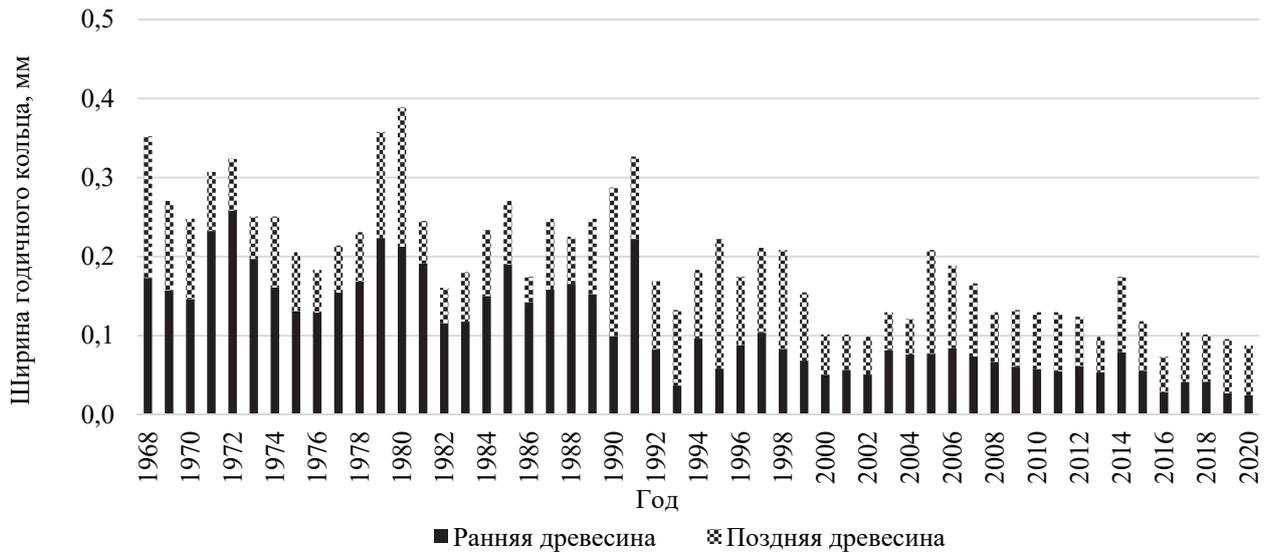


Рис. 12. Изменение ширины годичного слоя древесины гродненского климатипа сосны обыкновенной

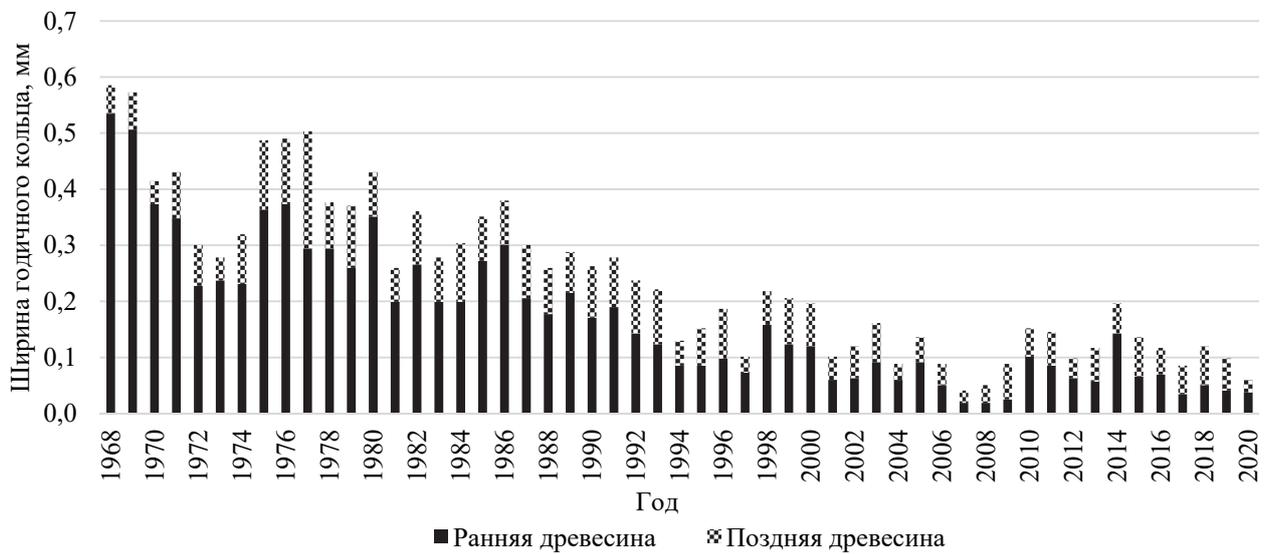


Рис. 13. Изменение ширины годичного слоя древесины курского климатипа сосны обыкновенной

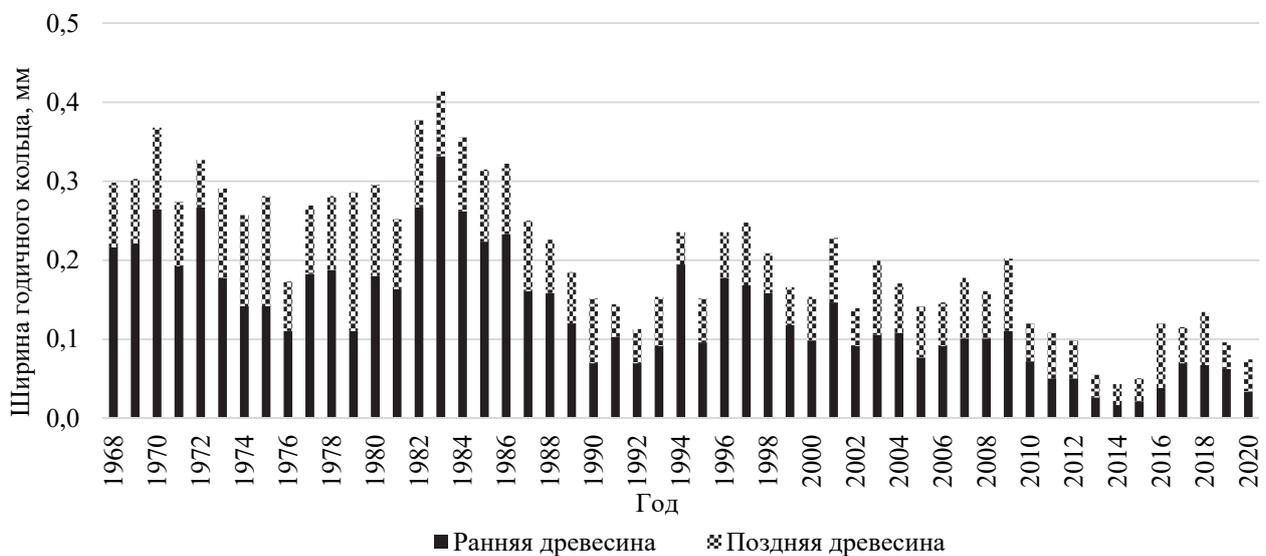


Рис. 14. Изменение ширины годичного слоя древесины белгородского климатипа сосны обыкновенной

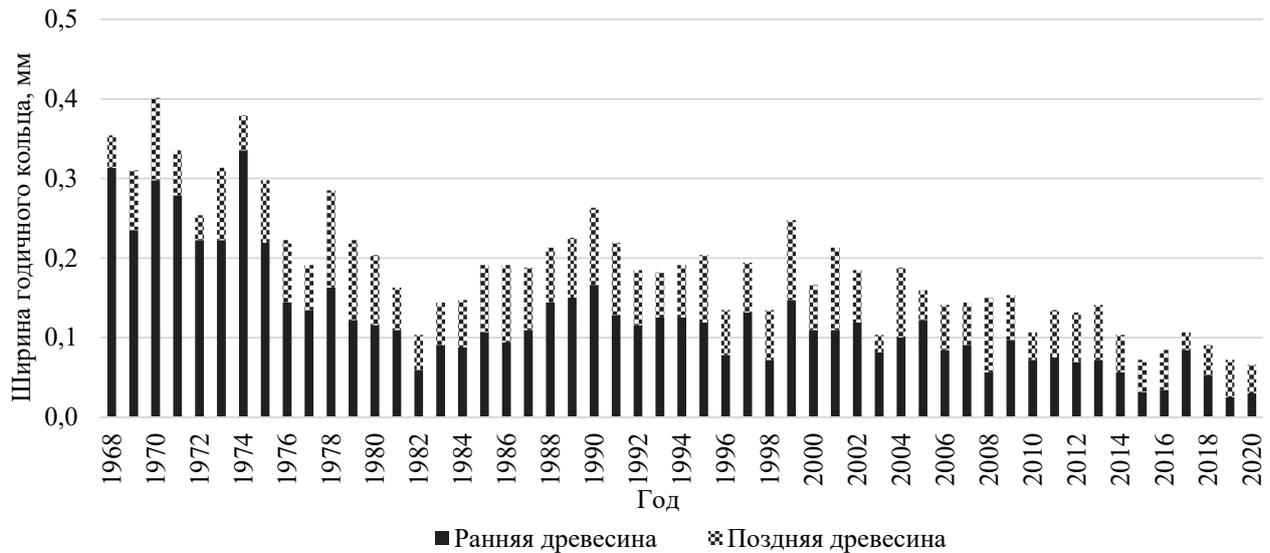


Рис. 15. Изменение ширины годичного слоя древесины волгоградского климатипа сосны обыкновенной

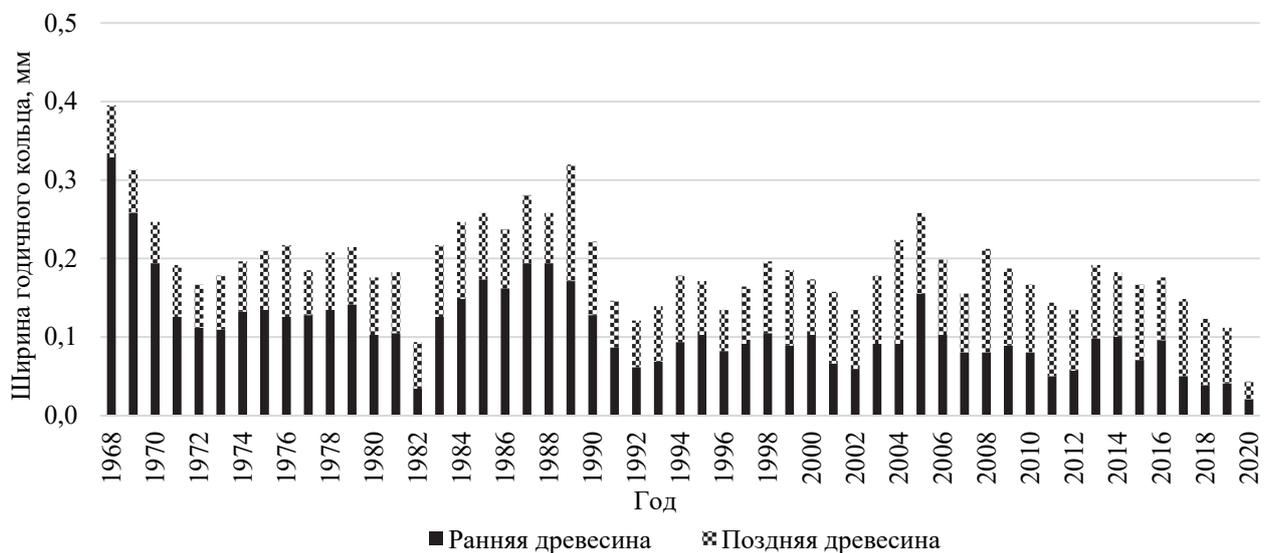


Рис. 16. Изменение ширины годичного слоя древесины ростовского климатипа сосны обыкновенной



Рис. 17. Изменение ширины годичного слоя древесины полтавского климатипа сосны обыкновенной

Южные климатипы также формируют годовые слои с большей долей поздней древесины в более зрелом возрасте, у прибалтийских (латвийский, эстонский) и местных (минский и витебский) климатипов показатели ширины годичного слоя по периодам колеблются в пределах средней, а наблюдаемые снижения в отдельные периоды связаны с погодными условиями, тормозящими рост. Доля поздней древесины по периодам распределена более равномерно. Эстонский и гродненский климатипы показали максимальный прирост с 1965 по 1995 г. в возрасте 10–30 лет. Наблюдаемые различия в радиальном приросте сосны обыкновенной различного географического происхождения в значительной степени зависят от погодных условий в период активного роста.

Анализ связи ширины годичного слоя у северных климатипов показал значимые отрицательные коэффициенты корреляции с суммой эффективных температур выше 10°C и положительные с суммой осадков за вегетационный период (табл. 2). Наиболее тесная связь между климатическими факторами и шириной годичного слоя отмечается в молодом возрасте. Так, у архангельского, вологодского, ленинградского и томского климатипов коэффициент корреляции с осадками в первый десятилетний период роста составил от 0,62 до 0,99. С возрастом связь ослабевает, но в определенные периоды, связанные в основном с максимальным приростом, коэффициент корреляции колеблется от 0,41 до 0,86, что также свидетельствует о положительном влиянии осадков на радиальный прирост сосны экотипов

северного происхождения. Влияние температуры для северных климатипов менее существенное и в основном отрицательное, за исключением отдельных периодов у томского климатипа, который относится к сибирскому подвиду сосны.

У южных климатипов в целом наблюдается отрицательная существенная связь с осадками и положительная связь с температурой. Эти климатипы являются более засухоустойчивыми, менее подвержены влиянию осадков и более требовательны к теплообеспеченности. Значительное возращание температуры, которое наблюдается в последние годы, привело к ее отрицательному влиянию на радиальный прирост сосны обыкновенной.

Так, по всем климатипам в период с 2016 по 2021 г. отмечена отрицательная корреляция радиального прироста и суммы эффективных температур выше 10°C за вегетационный период. Более существенная связь с данным климатическим показателем наблюдается у северных климатипов (от $r = -0,20$ у ленинградской до $r = -0,68$ у томской сосны).

У южных климатипов повышение суммы эффективных температур также отрицательно повлияло на радиальный прирост (от $r = -0,12$ у хмельницкой до $r = -0,66$ у курской сосны).

Средняя ширина годичного слоя у исследуемых климатипов сосны обыкновенной колеблется от 0,19 до 0,27 см (табл. 3), коэффициент вариации составляет от 21,1% (средний уровень изменчивости) до 59,0% (очень высокий уровень изменчивости).

Таблица 3

Сводная таблица по ширине годичного слоя сосны обыкновенной в географических лесных культурах

Климатип сосны обыкновенной	Ширина годичного слоя древесины ($M \pm mM$), см	Предельные значения, мм		Размах, мм	Коэффициент вариации V , %
		min	max		
Архангельский	0,20 ± 0,014	0,05	0,46	0,41	50,8
Ленинградский	0,26 ± 0,009	0,13	0,42	0,29	24,1
Томский	0,27 ± 0,013	0,12	0,58	0,46	33,3
Вологодский	0,20 ± 0,009	0,08	0,39	0,31	31,1
Эстонский	0,25 ± 0,017	0,09	0,52	0,43	45,6
Латвийский	0,26 ± 0,009	0,12	0,44	0,32	24,7
Витебский	0,32 ± 0,010	0,20	0,50	0,30	22,2
Минский	0,23 ± 0,007	0,14	0,35	0,21	21,1
Ульяновский	0,20 ± 0,007	0,12	0,34	0,22	24,5
Башкирский	0,22 ± 0,014	0,09	0,49	0,40	47,0
Гродненский	0,19 ± 0,011	0,07	0,39	0,32	40,2
Курский	0,24 ± 0,019	0,04	0,59	0,55	59,0
Белгородский	0,21 ± 0,012	0,04	0,41	0,37	43,9
Волгоградский	0,19 ± 0,011	0,07	0,40	0,33	42,0
Ростовский	0,19 ± 0,008	0,04	0,39	0,35	30,8
Хмельницкий	0,20 ± 0,008	0,11	0,42	0,31	28,4
Полтавский	0,27 ± 0,014	0,07	0,44	0,37	38,8

Минимальное значение ширины годового слоя в отдельные годы характерно для ростовского, белгородского, курского климатипов – по 0,04 см, максимальный прирост наблюдался у сосны курского происхождения – 0,59 см.

Анализ полученных данных за весь период наблюдений показал, что существует средняя отрицательная корреляционная связь между шириной годового слоя и суммой эффективных температур воздуха выше 10°C за вегетационный период для климатических экотипов сосны обыкновенной курского ($r = -0,65$), эстонского ($r = -0,61$), гродненского и полтавского ($r = -0,59$), белгородского ($r = -0,57$) и волгоградского ($r = -0,50$) происхождений. Не обнаружено корреляционной связи между шириной годового слоя и суммой осадков за вегетационный период. Умеренная положительная связь выявлена между шириной годового слоя и рассеянной солнечной радиацией у сосны полтавской ($r = -0,49$), томской ($r = 0,43$), белгородской ($r = 0,41$) провениенций.

Также умеренная положительная связь установлена между шириной годового слоя и высотой снежного покрова только для деревьев сосны курского и белгородского происхождений ($r = 0,45$). Положительная умеренная корреляционная связь установлена для ширины годового

слоя и гидротермического коэффициента Селянинова у сосны курской ($r = 0,42$) и эстонской ($r = 0,40$) провениенций (табл. 4).

Соотношение индексов ширины годового слоя, суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период по годам у различных климатипов представлено на рис. 18–33.

Анализ полученных данных показывает, что значения индексов ширины годового слоя, суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период имеют неодинаковые соотношения у исследуемых климатипов на всем временном отрезке периодов их роста и развития.

Все исследуемые климатипы сосны обыкновенной можно условно подразделить на две большие группы. Первую группу составляют те провениенции, у которых четко прослеживается взаимосвязь оцениваемых индексов и их изменение по годам исследований. К этой группе относятся климатипы сосны обыкновенной ленинградского, вологодского, латвийского, эстонского, витебского, минского, ульяновского, томского и ростовского происхождений. Географические координаты указанной группы провениенций сосны обыкновенной составляют от 50 до 61° с. ш. и от 22 до 85° в. д.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между шириной годового слоя, суммой эффективных температур выше 10°C и суммой осадков за вегетационный период у климатических экотипов сосны обыкновенной (за весь период)

Климатип сосны обыкновенной	Значения коэффициента корреляции между шириной годового слоя климатипа и следующими показателями				
	суммой активных температур воздуха за вегетационный период	суммой осадков за вегетационный период	рассеянной солнечной радиацией	высотой снежного покрова	гидротермическим коэффициентом Селянинова
Архангельский	-0,43	-0,02	0,29	0,03	0,18
Ленинградский	0,15	0,04	0,19	-0,09	-0,05
Томский	-0,46	0,00	0,43	0,28	0,23
Вологодский	0,08	-0,25	0,18	-0,14	-0,25
Эстонский	-0,61	0,09	0,36	0,39	0,40
Латвийский	0,26	0,03	0,02	-0,01	-0,11
Витебский	-0,15	-0,03	0,02	-0,07	0,03
Минский	0,08	0,04	0,22	0,02	0,00
Ульяновский	-0,27	0,17	0,13	0,20	0,26
Башкирский	-0,50	0,05	0,30	0,33	0,27
Гродненский	-0,59	0,00	0,31	0,32	0,26
Курский	-0,65	0,15	0,35	0,45	0,42
Белгородский	-0,57	0,11	0,41	0,45	0,35
Волгоградский	-0,50	0,10	0,28	0,25	0,32
Ростовский	-0,35	0,10	0,35	0,31	0,22
Хмельницкий	0,02	-0,07	-0,01	0,27	-0,07
Полтавский	-0,59	-0,10	0,49	0,18	0,19

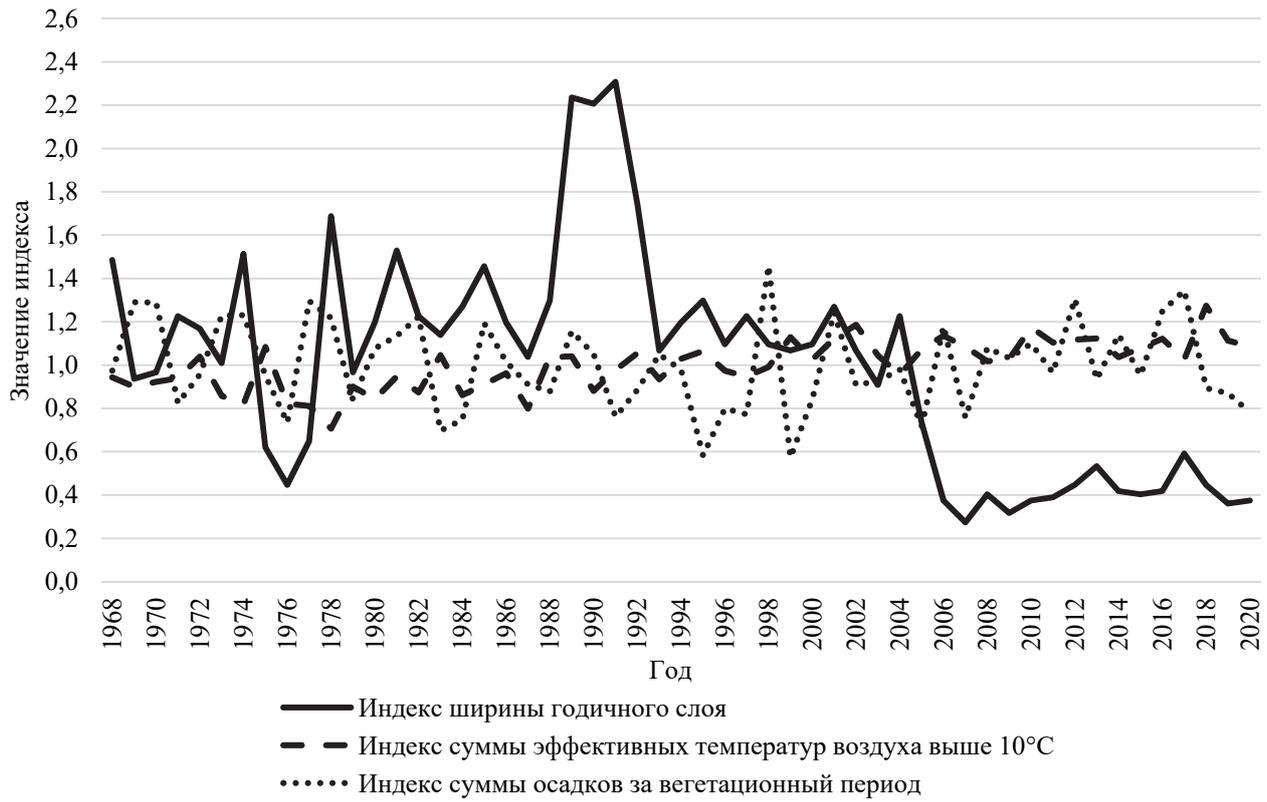


Рис. 18. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины архангельского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

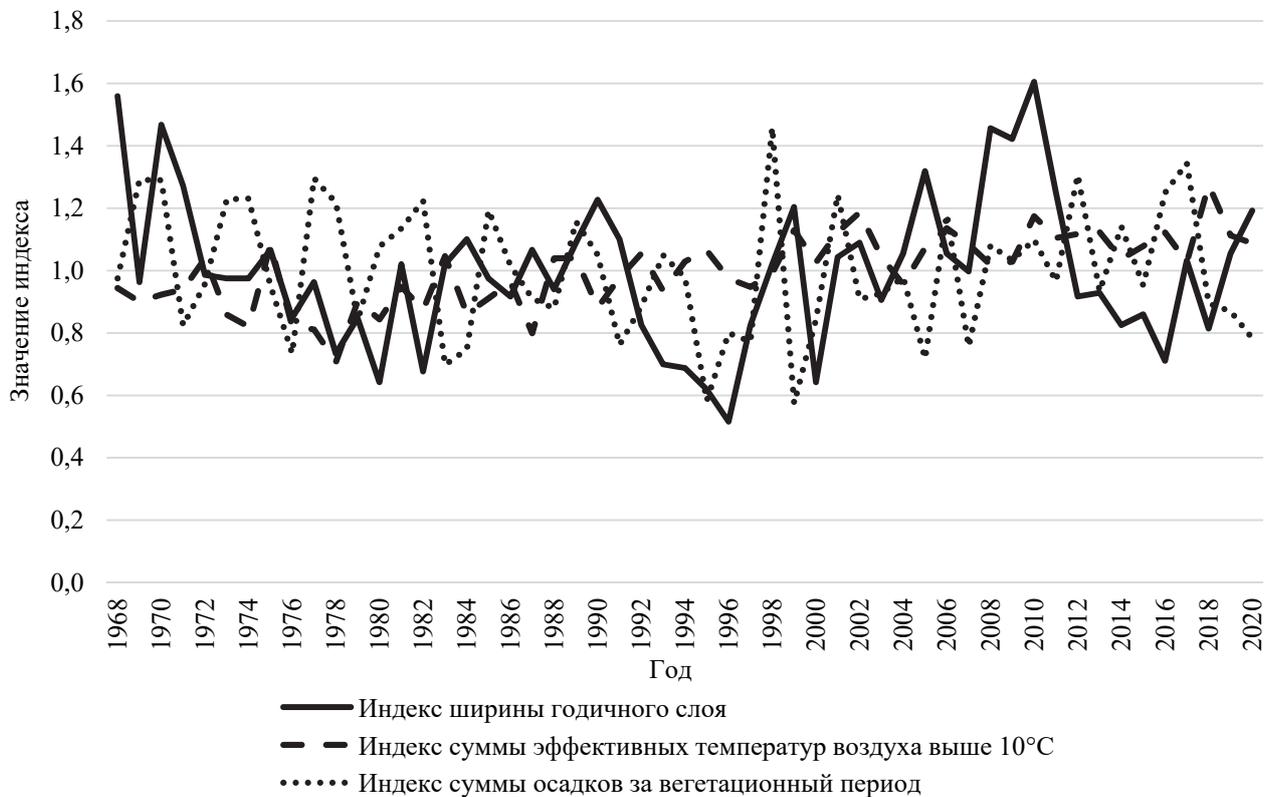


Рис. 19. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины ленинградского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

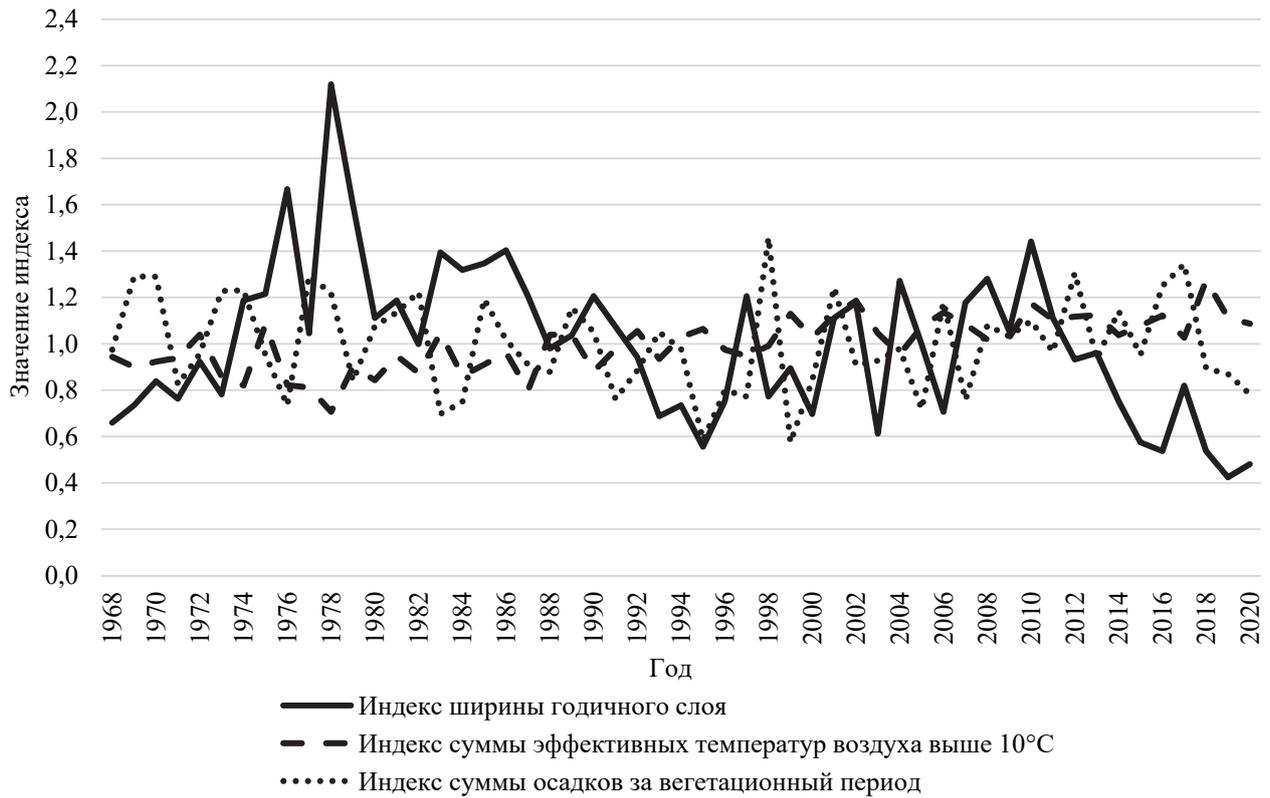


Рис. 20. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины томского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

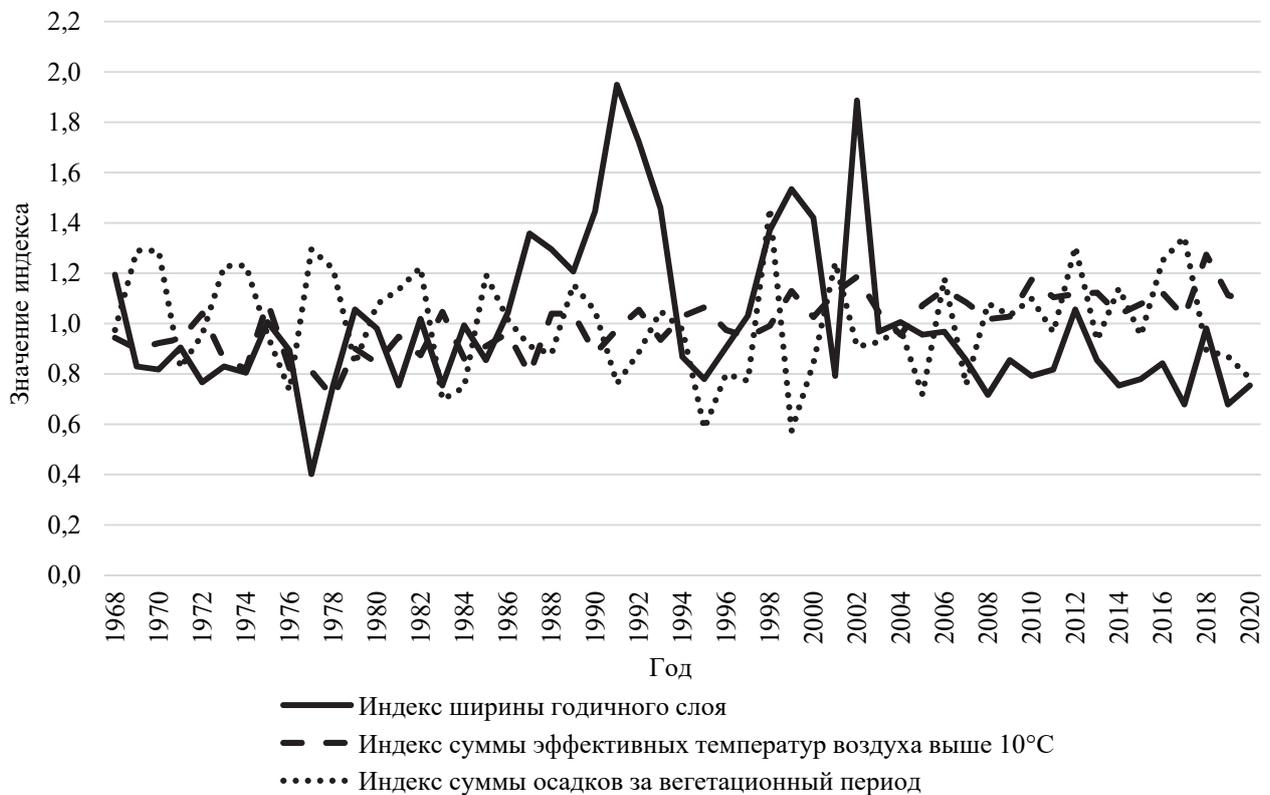


Рис. 21. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины вологодского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

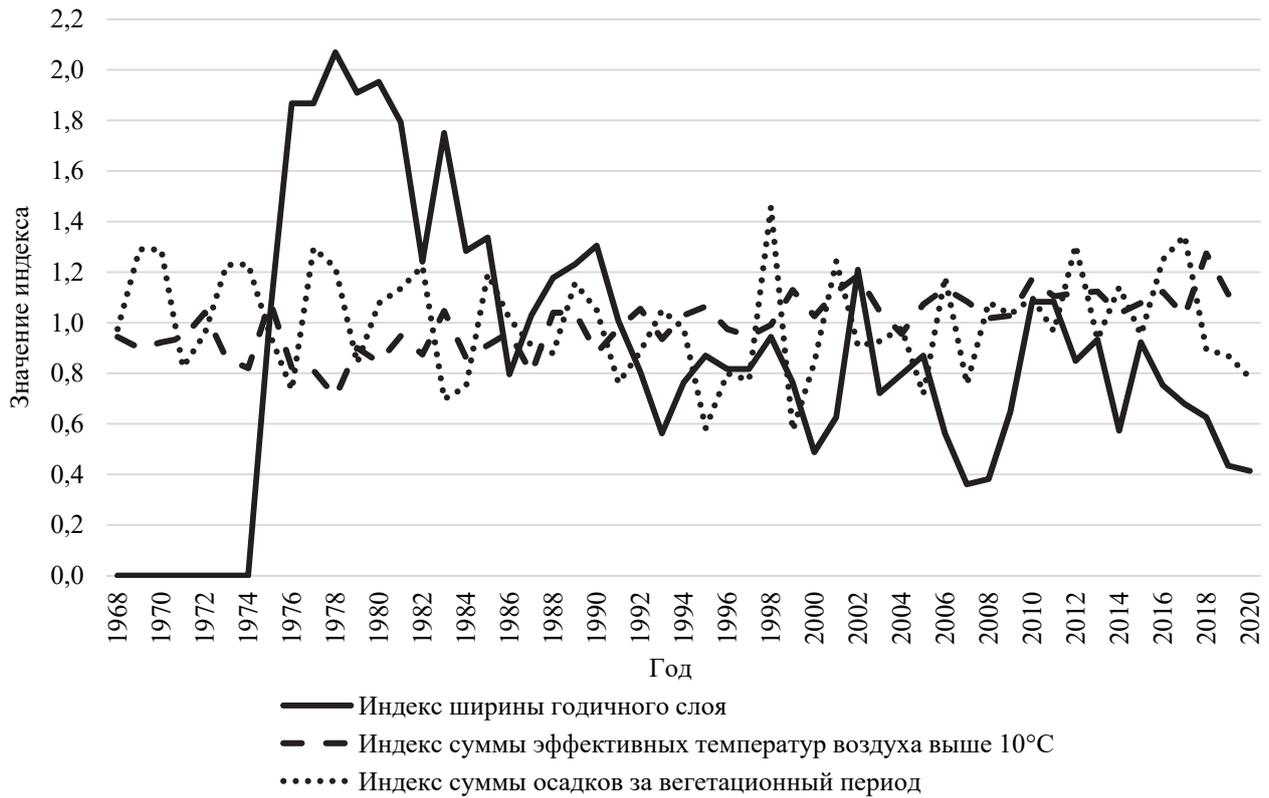


Рис. 22. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины эстонского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

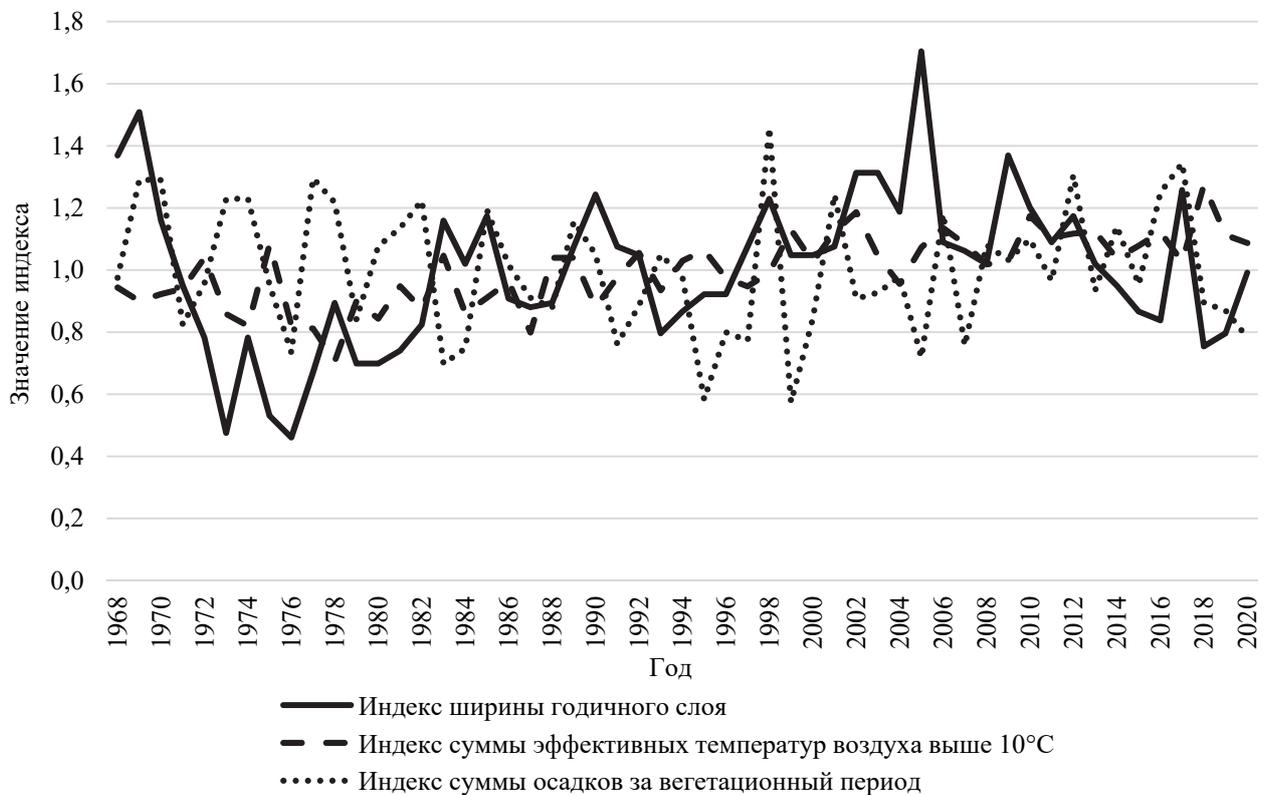


Рис. 23. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины латвийского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

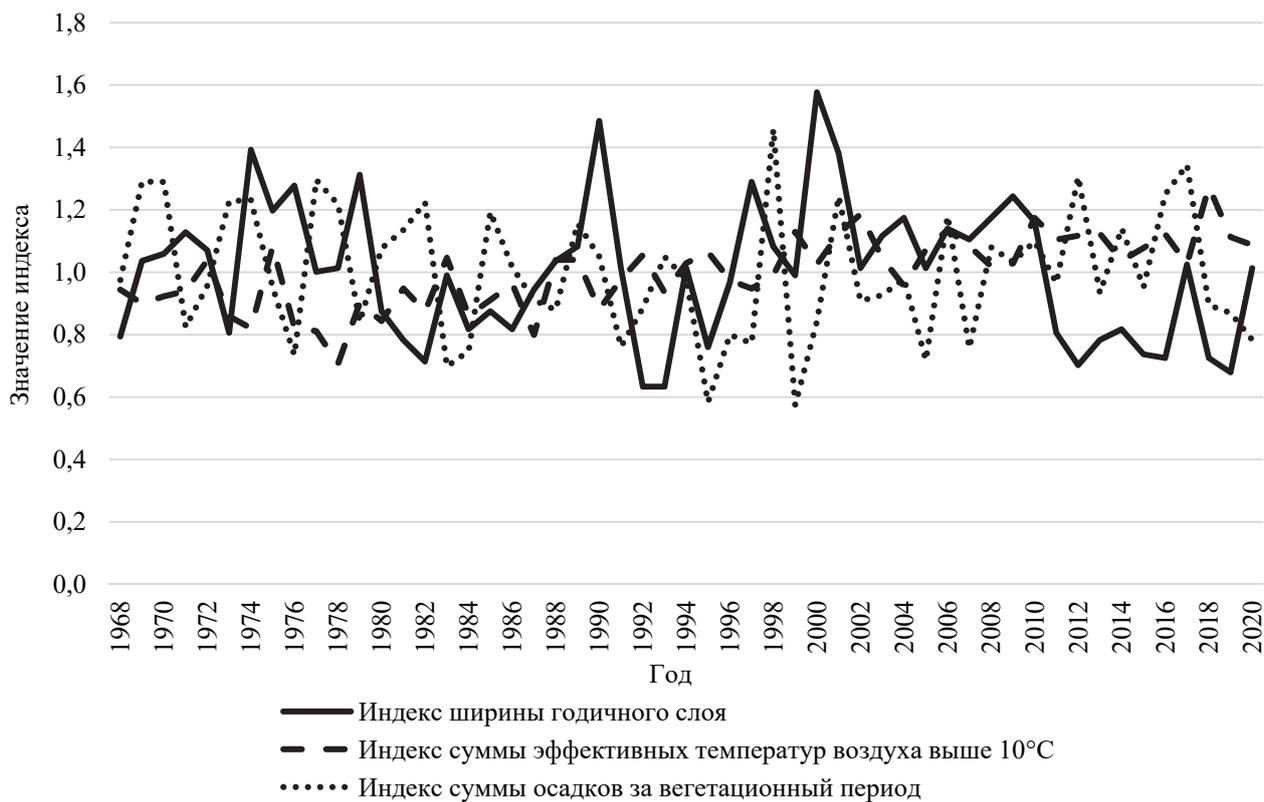


Рис. 24. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины витебского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

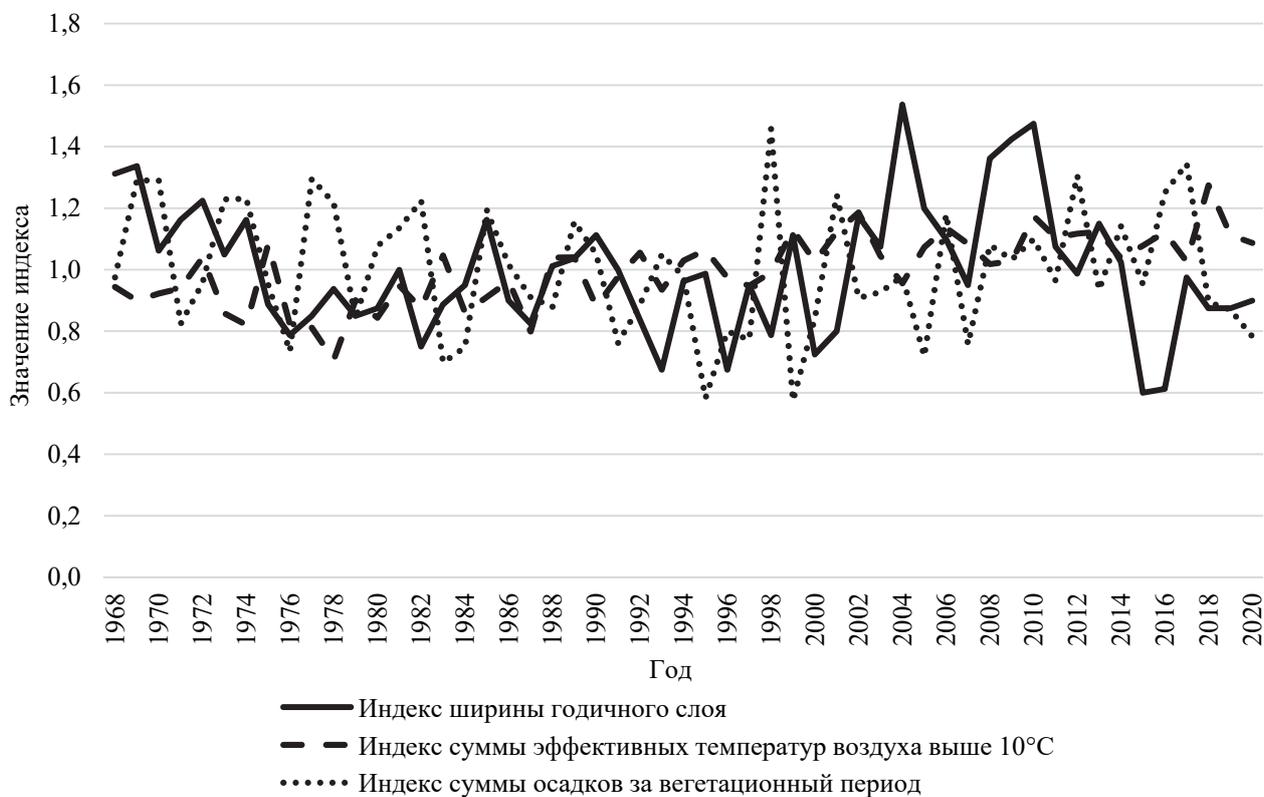


Рис. 25. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины минского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

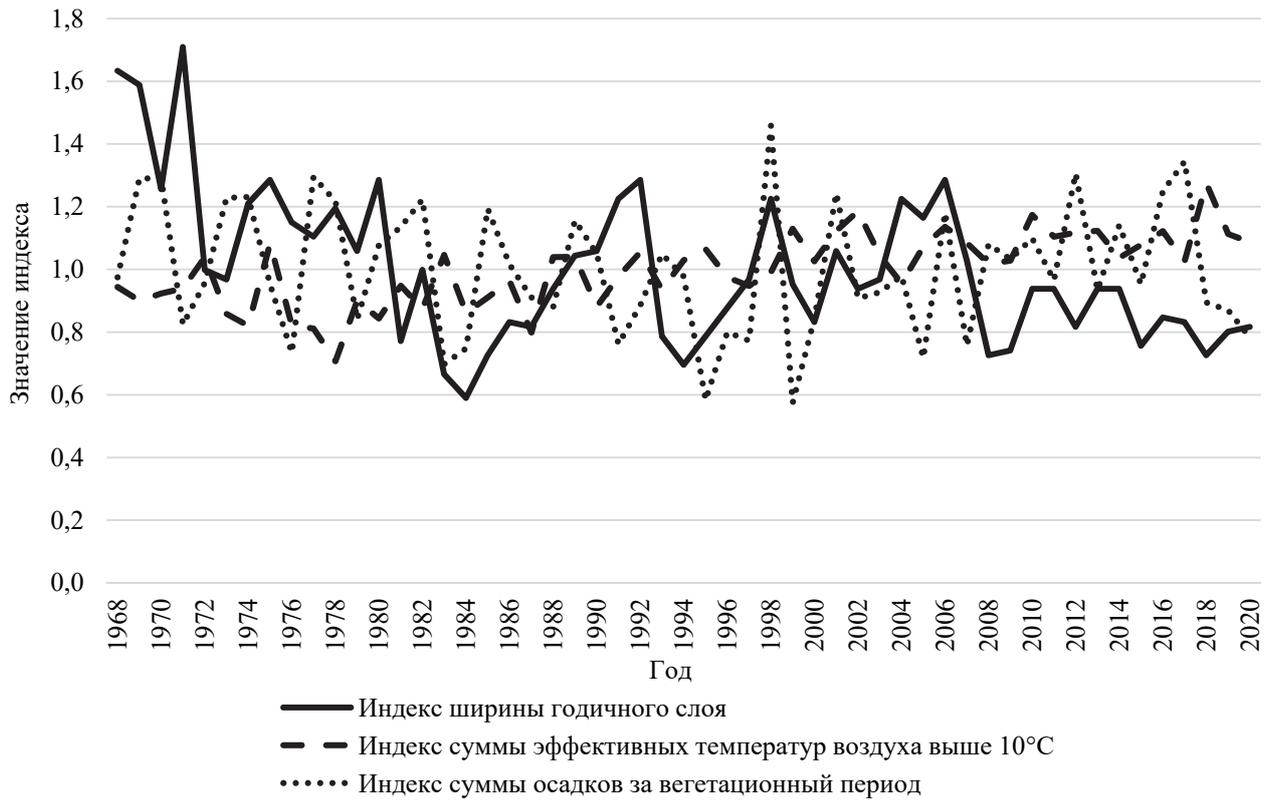


Рис. 26. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины ульяновского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

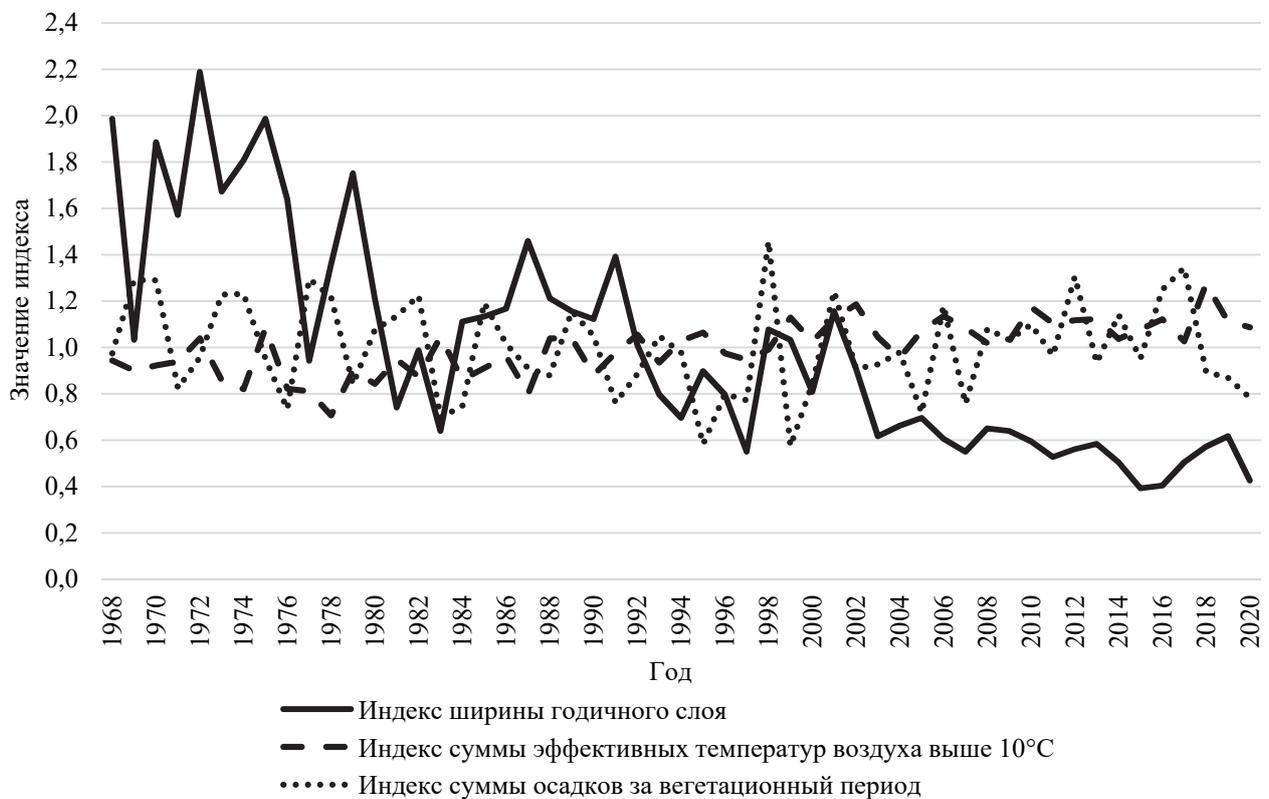


Рис. 27. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины башкирского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

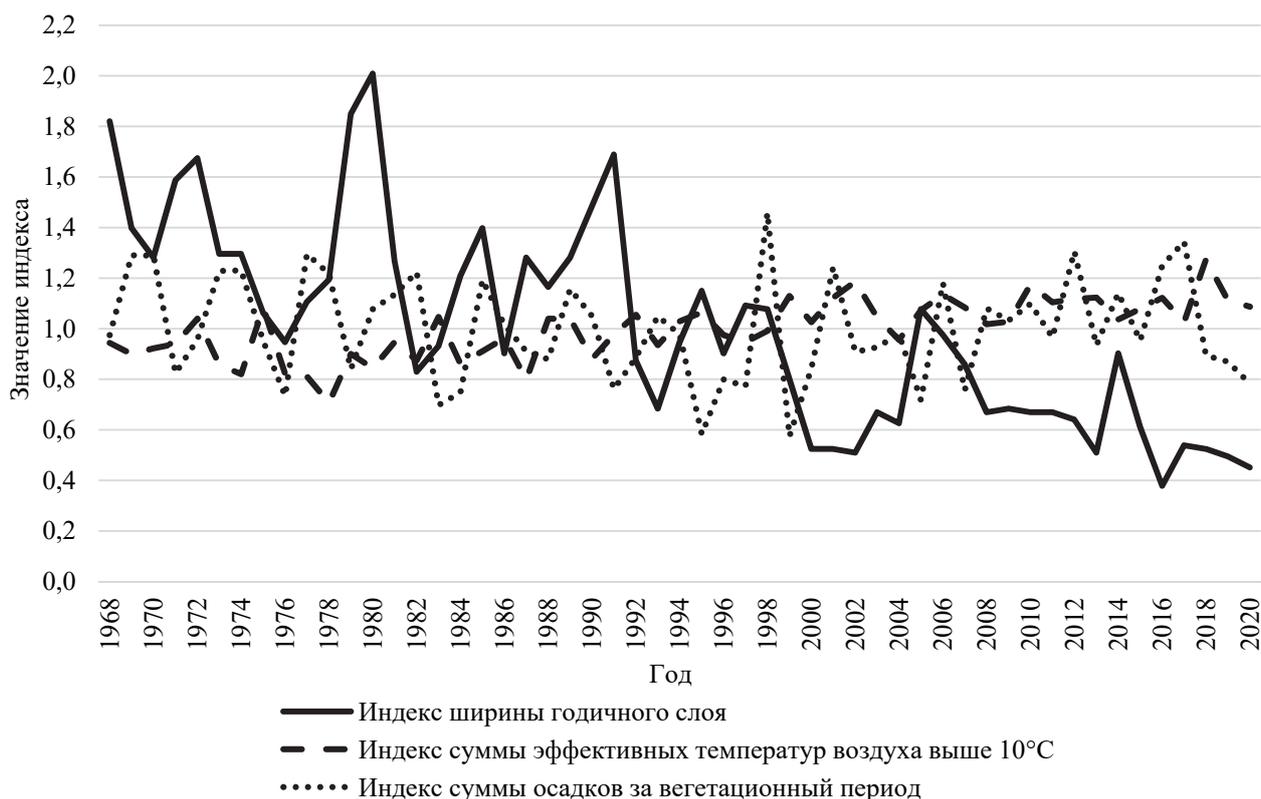


Рис. 28. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины гродненского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

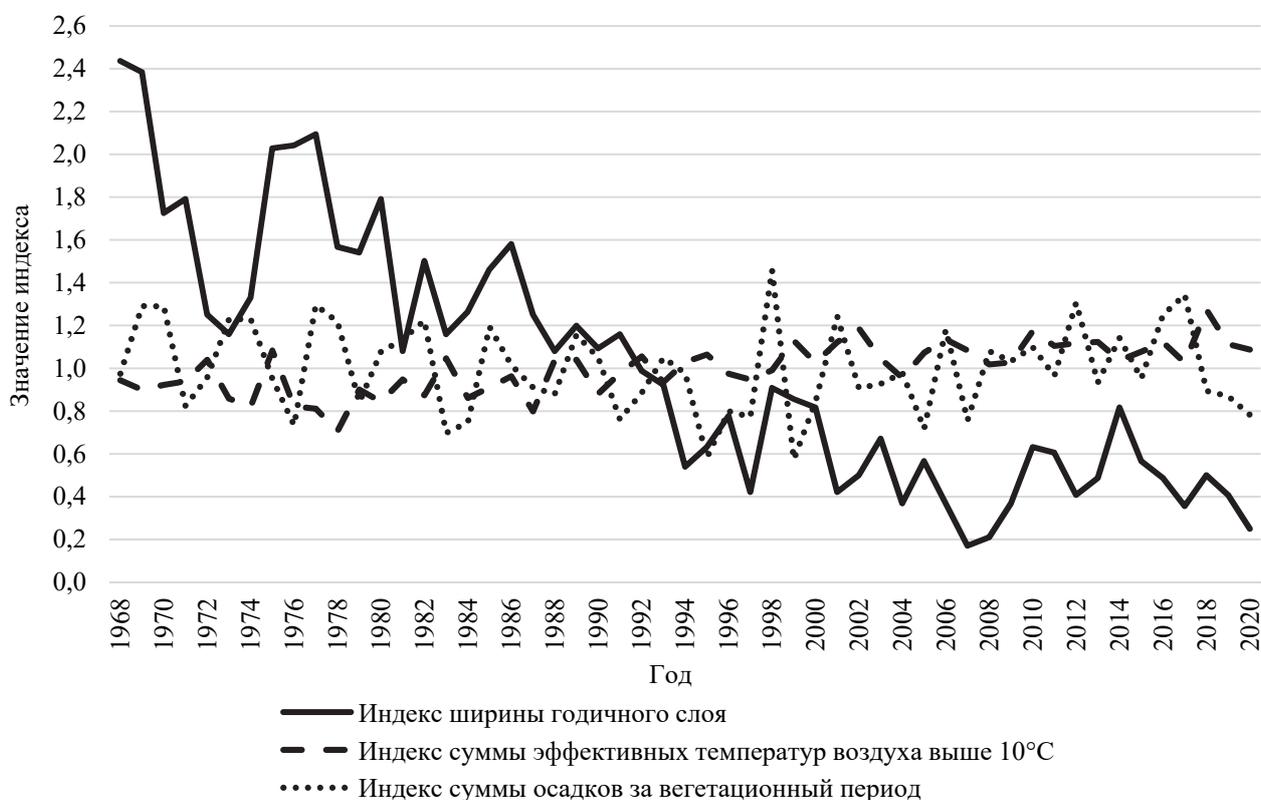


Рис. 29. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины курского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

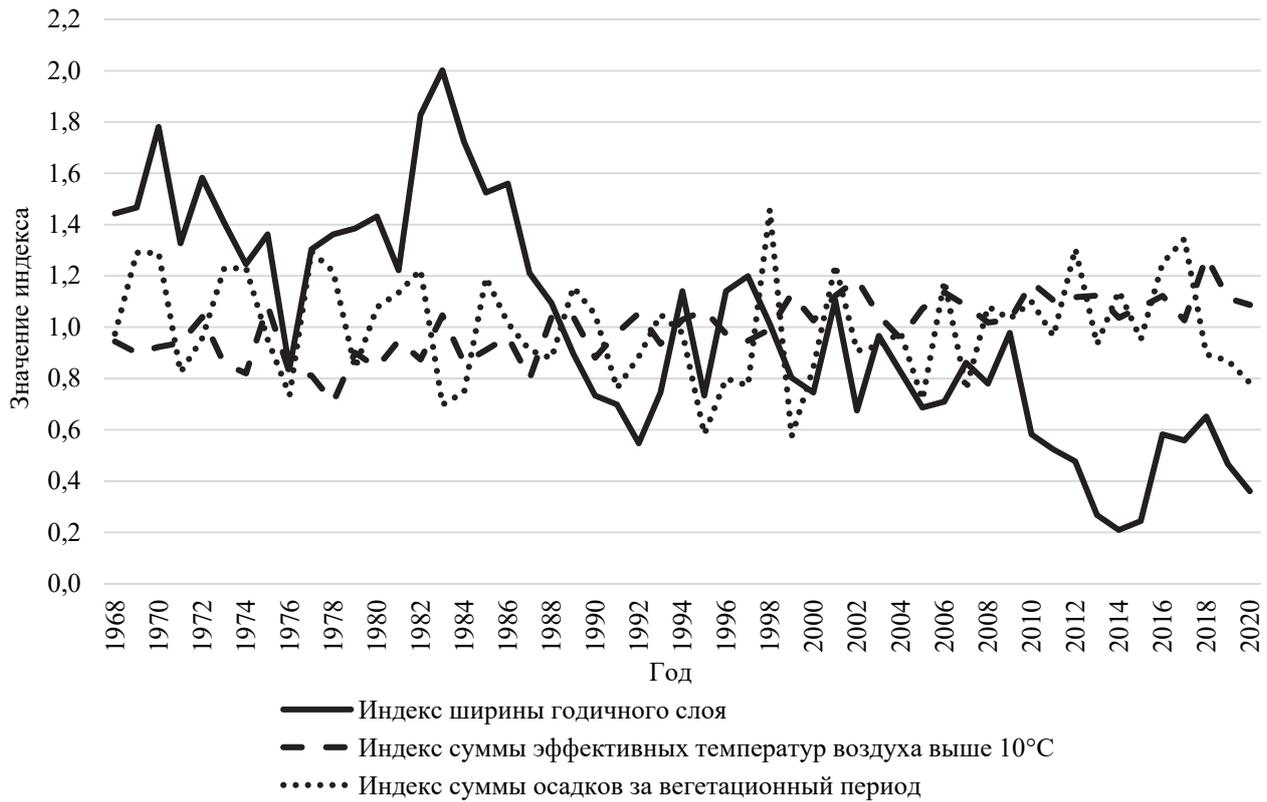


Рис. 30. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины белгородского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

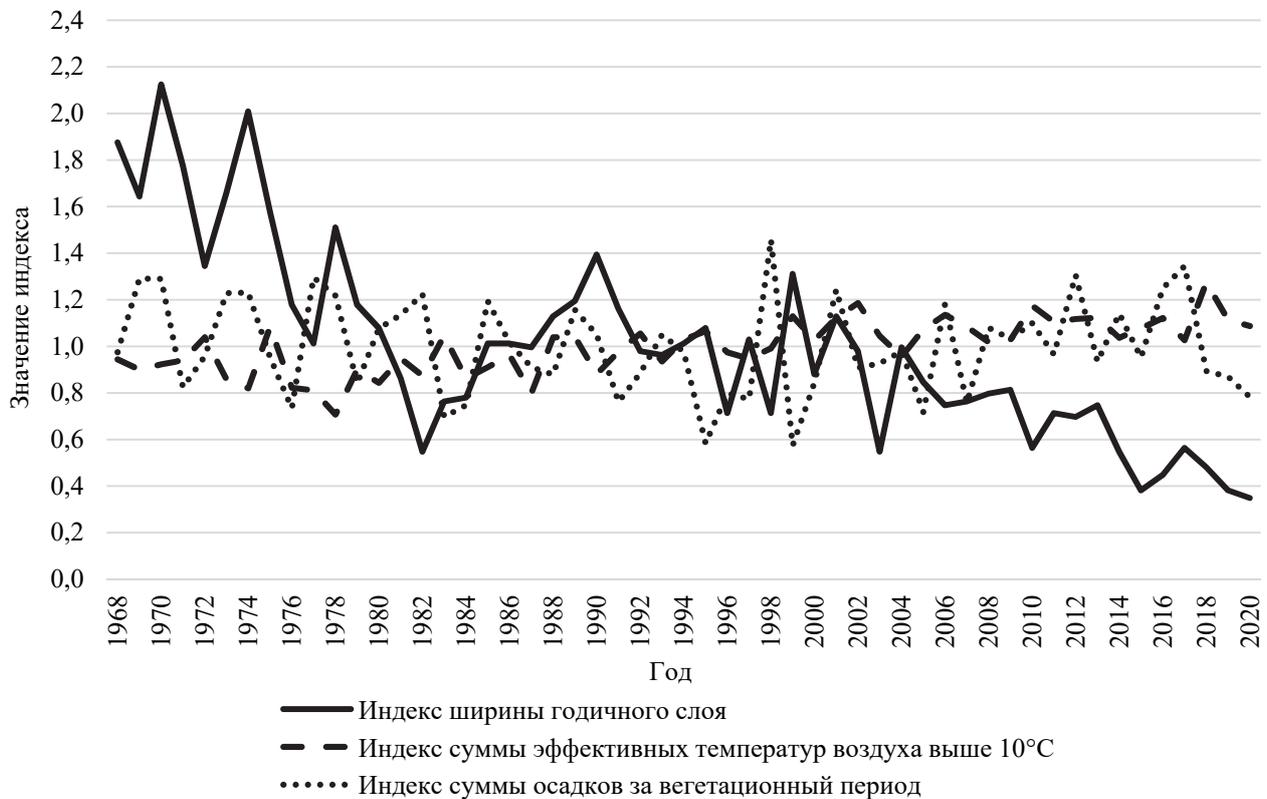


Рис. 31. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины волгоградского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

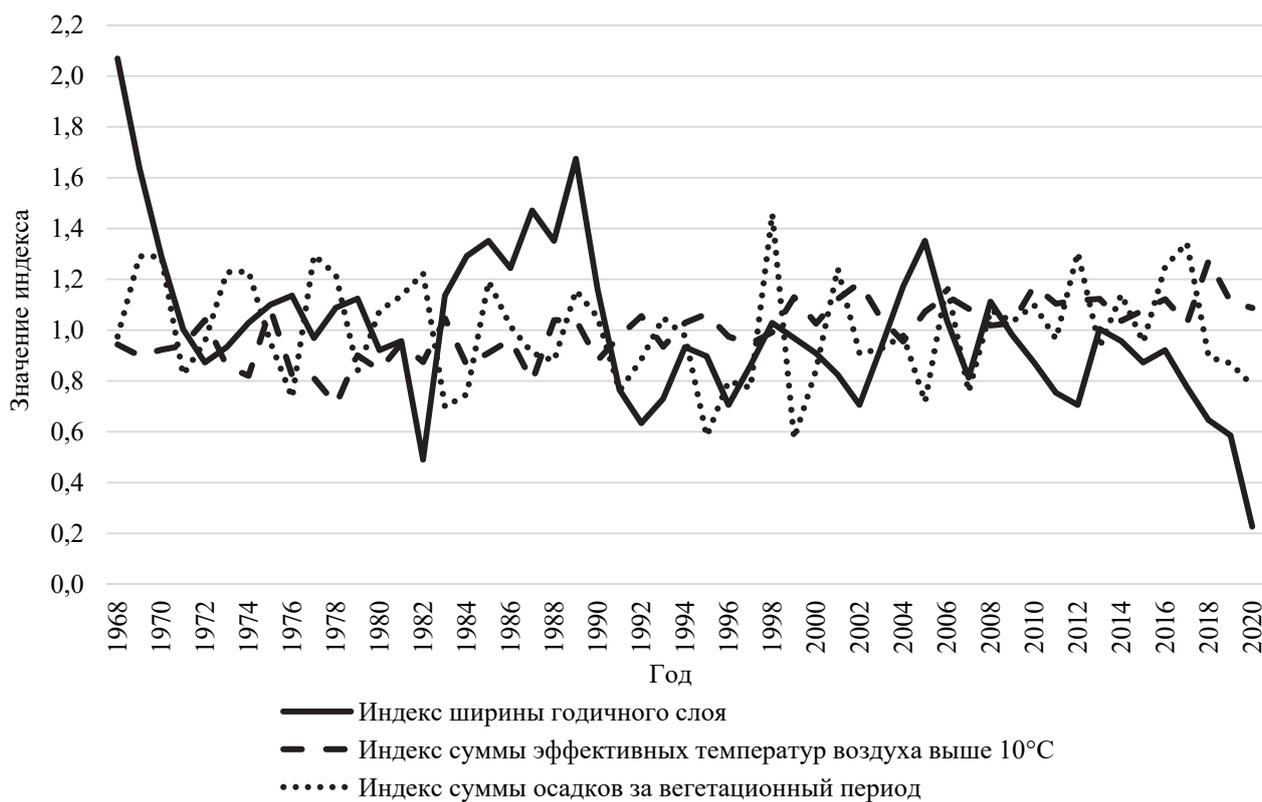


Рис. 32. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины ростовского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

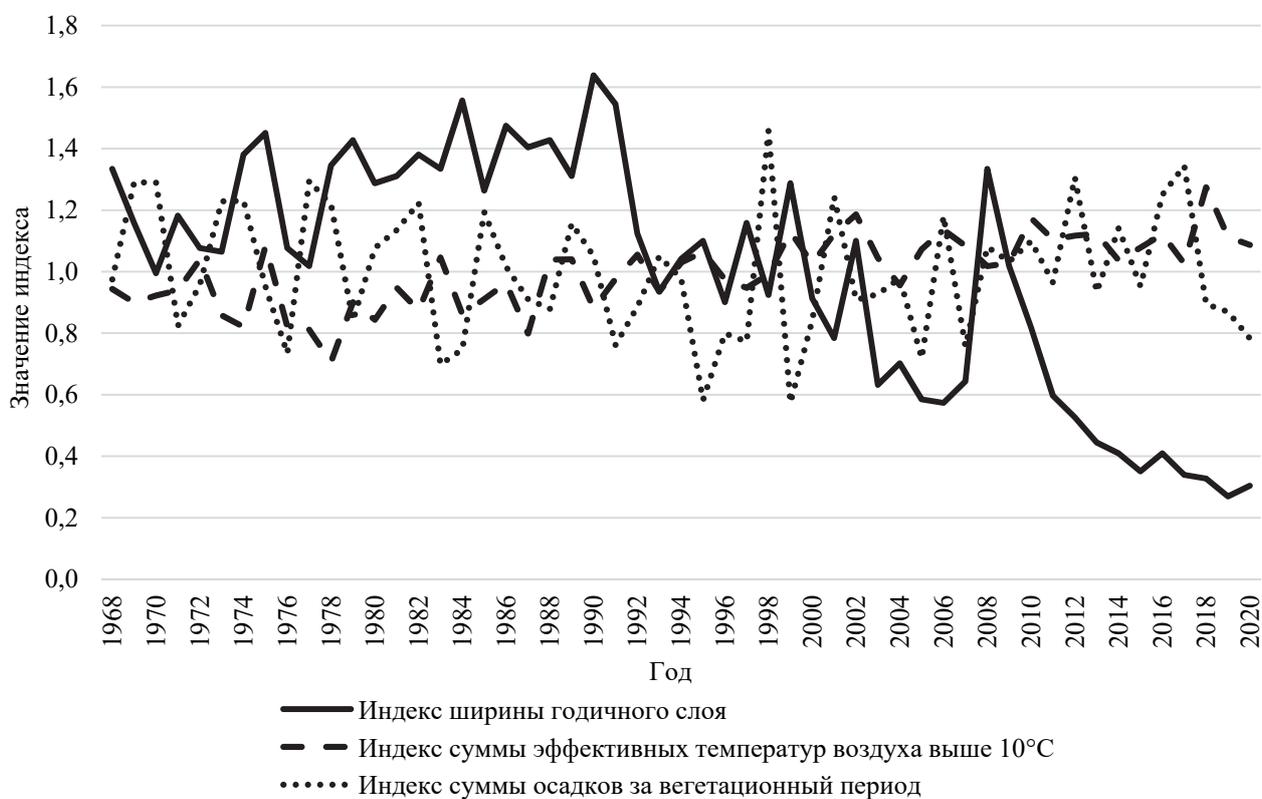


Рис. 33. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины полтавского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

Ко второй группе относятся те происхождения сосны обыкновенной, у которых не прослеживается взаимосвязь исследуемых индексов, причем в первой половине их жизни (первые 30 лет) значение индексов ширины годичного слоя древесины значительно превышает параметры индексов суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период, а во второй половине их жизни (с 30 до 60 лет) индекс ширины годичного слоя древесины начинает резко снижаться и находится существенно ниже значений сравниваемых индексов суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков. К таким климатипам относятся архангельская, гродненская, курская, белгородская, волгоградская, полтавская и башкирская провениенции. Географические координаты данной группы провениенций соответствуют 49–62° с. ш. и 24–43° в. д.

Заключение. В результате проведенных исследований по оценке изменений климатических факторов и их влиянию на радиальный прирост сосны обыкновенной различных провениенций определена корреляционная связь между шириной годичного слоя с суммой эффективных температур выше 10°C, суммой осадков за вегетационный период, рассеянной солнечной радиацией, высотой снежного покрова, гидротермическим коэффициентом Селянинова. Установлена взаимосвязь изменения индекса ширины годичного слоя древесины сосны обыкновенной различных провениенций с ин-

дексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период.

Анализ полученных данных по оценке значений индексов ширины годичного слоя, суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период показал наличие неодинаковых их соотношений у исследуемых климатипов на всем временном отрезке онтогенеза провениенций.

Все исследуемые провениенции сосны обыкновенной можно условно подразделить на две большие группы. В первую группу отнесены те провениенции, у которых четко прослеживается взаимосвязь оцениваемых индексов и их изменение по годам исследований. Ко второй группе принадлежат те происхождения сосны обыкновенной, у которых не прослеживается взаимосвязь исследуемых индексов, причем в первой половине их жизни (первые 30 лет) значения индексов ширины годичного слоя древесины значительно превышает параметры индексов суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период, а во второй половине их жизни (с 30 до 60 лет) индекс ширины годичного слоя древесины начинает резко снижаться и находится существенно ниже значений сравниваемых индексов суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков.

Географические координаты первой группы провениенций колеблются от 50 до 61° с. ш. и от 22 до 85° в. д., второй группы – от 49 до 62° с. ш. и от 24 до 43° в. д.

Список литературы

1. Крамер П. Д., Козловский Т. Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1983. 627 с.
2. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в Ленинградской области / И. В. Никифорочкин [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020. № 2. С. 34–45.
3. Михайлова М. И. Состояние, рост и продуктивность экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах Воронежской области: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Воронеж, 2022. 219 с.
4. Михайлова М. И., Чернышов М. П., Ребко С. В. О лучших геоэкотипах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для искусственного лесовосстановления // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 4 (52). Ч. 1. С. 58–71. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4.
5. Воробьева Н. С., Епишков А. А., Белобров Д. В. Влияние климатических факторов на формирование годичного радиального прироста сосны в культурах на территории Молокчинского заказника (Московская область) // Сифра. Биологические науки. 2024. Вып. 1. С. 1–6. DOI: 10.18454/ВЮ.2024.1.3.
6. Кухта А. Е., Максимова О. В., Кузнецова В. В. Воздействие климатических факторов на приросты сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 4. С. 105–119. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-105-119.
7. Железнова О. С., Тобратов С. А. Влияние климата на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных местообитаниях Мещерской низменности // Известия РАН. Сер.: Географическая. 2019. № 5. С. 67–77. DOI: 10.31857/S2587-55662019567-77.
8. Кузьмин С. Р., Роговцев Р. В. Радиальный рост и доля поздней древесины у сосны обыкновенной в географических культурах в Западной и Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2016. № 6. С. 113–125. DOI: 10.15372/SJFS20160611.
9. Симоненкова В. А., Кулагин А. Ю. Радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на зональном экотоне леса и степи // Известия Уфимского научного центра РАН. 2018. № 2. С. 76–81. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-0-2-76-81.

10. Шереметов Р. Т., Уфимцев В. И. Оценка влияния температуры на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного воздействия // Вестник КемГУ. 2012. № 4 (52). Т. 1. С. 24–28.

11. Лысенко С. А., Логинов В. Ф. Роль лесов в поддержании водного баланса на территории Беларуси // Доклады Нац. акад. наук Беларуси. 2020. Т. 64, № 2. С. 225–232. DOI: 10.29235/1561-8323-2020-64-2-225-232.

12. Лысенко С. А. Численное моделирование микроклимата повторно заболочиваемых земель Белорусского Полесья // Доклады Нац. акад. наук Беларуси. 2024. Т. 68, № 3. С. 238–246. DOI: 10.29235/1561-8323-2024-68-3-238-246.

13. Демина А. В. Особенности эколого-климатического отклика радиального прироста сосны обыкновенной в двух дефицитных по увлажнению регионах Сибири: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Воронеж, 2022. 133 л.

14. Кухта А. Е., Попова Е. Н. Климатический сигнал в линейном приросте сосны обыкновенной бореальных фитоценозов побережья Белого моря // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2020. Т. 31, № 3–4. С. 33–45.

15. Статистические закономерности изменчивости временных рядов радиального прироста сосны обыкновенной по показателям синхронности на территории Русской равнины / Д. Е. Румянцев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22526> (дата обращения: 02.03.2025).

16. Estimated Influence of Extreme Climate Events in the 21st Century on the Radial Growth of Pine Trees in Povolzhie Region (European Russia) / V. Matskovsky [et al.] // IOP Conference. Series Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 611, no. 1. Art. 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/611/1/012047.

References

1. Kramer P. D., Kozlovskiy T. T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 627 p. (In Russian).

2. Nikiforochkin I. V., Vetrov L. S., Guryanov M. O., Sadovnikova A. A. The influence of climatic factors on the radial growth of Scots pine in the Leningrad region. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2020, no. 2, pp. 34–45 (In Russian).

3. Mikhaylova M. I. *Sostoyaniye, rost i produktivnost' ekotipov sosny obyknovennoy v geograficheskikh lesnykh kul'turakh Voronezhskoy oblasti. Dissertatsiya kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk* [The state, growth and productivity of Scots pine ecotypes in geographical forest cultures of the Voronezh region. Dissertation PhD Agriculture]. Voronezh, 2022. 219 p. (In Russian).

4. Mikhailova M. I., Chernyshov M. P., Rebko S. V. On the best geocotypes of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for artificial reforestation. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry journal], 2023, vol. 13, no. 4 (52), part 1, pp. 58–71. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4 (In Russian).

5. Vorobyova N. S., Epishkov A. A., Belobrov D. V. Influence of climatic factors on the formation of annual radial growth of pine in crops on the territory of the Molokchinsky Reserve (Moscow Region). *Cifra. Biologicheskkiye nauki* [Cifra. Biological Science], 2024, issue 1, pp. 1–6. DOI: 10.18454/BIO.2024.1.3 (In Russian).

6. Kukhta A. E., Maksimova O. V., Kuznetsova V. V. Impact of climatic factors on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on the coast of the Kandalaksha Gulf of the White Sea. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forestry magazine], 2023, no. 4, pp. 105–119. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-105-119 (In Russian).

7. Zheleznova O. S., Tobratov S. A. The influence of climate on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in various habitats of the Meshchera Lowland. *Izvestiya RAN* [Bulletin of the Russian Academy of Science], Geographical series, 2019, no. 5, pp. 67–77. DOI: 10.31857/S2587-55662019567-77 (In Russian).

8. Kuzmin S. R., Rogovtsev R. V. Radial growth and the proportion of latewood in Scots pine in geographical cultures in Western and Central Siberia. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forestry Journal], 2016, no. 6, pp. 113–125. DOI: 10.15372/SJFS20160611 (In Russian).

9. Simonenkova V. A., Kulagin A. Yu. Radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on the zonal ecotone of forest and steppe. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Science], 2018, no. 2, pp. 76–81. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-0-2-76-81 (In Russian).

10. Sheremetov R. T., Ufimtsev V. I. Assessment of the influence of temperature on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under technogenic impact. *Vestnik KemGU* [Bulletin of KemSU], 2012, no. 4 (52), vol. 1, pp. 24–28 (In Russian).

11. Lysenko S. A., Loginov V. F. The role of forests in maintaining water balance in Belarus. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2020, vol. 64, no. 2, pp. 225–232. DOI: 10.29235/1561-8323-2020-64-2-225-232 (In Russian).
12. Lysenko S. A. Numerical modeling of the microclimate of re-wetted lands of the Belarusian Polesie. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2024, vol. 68, no. 3, pp. 238–246. DOI: 10.29235/1561-8323-2024-68-3-238-246 (In Russian).
13. Demina A. V. *Osobennosti ekologo-klimaticheskogo otklika radial'nogo prirosta sosny obyknovnoy v dvukh defitsitnykh po uvlazhneniyu regionakh Sibiri. Dissertatsiya kandidata biologicheskikh nauk* [Features of the ecological and climatic response of the radial growth of Scots pine in two moisture-deficient regions of Siberia. Dissertation PhD Biological]. Voronezh, 2022. 133 p. (In Russian).
14. Kukhta A. E., Popova E. N. Climate signal in the linear growth of Scots pine in boreal phytocenoses of the White Sea coast. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of environmental monitoring and modeling of ecosystems], 2020, vol. 31, no. 3–4, pp. 33–45 (In Russian).
15. Rumyantsev D. E., Epishkov A. A., Lipatkin V. A., Volkova G. L. Statistical regularities of variability of time series of radial growth of Scots pine by synchronicity indicators on the territory of the Russian Plain. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 5. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22526> (accessed 02.03.2025) (In Russian).
16. Matskovsky V., Kuznetsova V., Morozova P., Semenyak N., Solomina O. Estimated Influence of Extreme Climate Events in the 21st Century on the Radial Growth of Pine Trees in Povolzhie Region (European Russia). *IOP Conference, series Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 611, no. 1, art. 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/611/1/012047.

Информация об авторах

Поплавская Лилия Францевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: poplavskaya@belstu.by

Ребко Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rebko@belstu.by

Тупик Павел Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pavel_tupik@belstu.by

Information about the authors

Paplauskaya Liliya Francauna – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: poplavskaya@belstu.by

Rabko Siarhei Uladzimiravich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rebko@belstu.by

Tupik Pavel Valeryevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavel_tupik@belstu.by

Поступила 14.03.2025