

Научная статья

УДК 551.583.4

doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-136-149

ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЮЖНОЙ ТАЙГЕ НА ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Евгения Леонидовна Гатина¹, Ирина Анатольевна Югова²

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

¹ suslovael@mail.ru² irishka.yugova@gmail.com

Аннотация. Региональные дендроклиматологические исследования демонстрируют наиболее точные результаты при выявлении климатических откликов древесных растений на изменения климатических факторов в одном конкретном регионе. Наиболее частым объектом наблюдений в подобных исследованиях являются хвойные деревья так как они более долговечны и чувствительны к изменениям внешних факторов. В работе представлены результаты дендроклиматического анализа радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в южной тайге на восточной окраине Русской равнины. Построение хронологии и анализ данных выполнены с использованием программ CooRecorder, CDendro, COFECHA, ARSTAN и R. Полученная древесно-кольцевая хронология сосны с охватывает временной интервал с 1822 по 2022 год, длительностью ряда в 201 год. Максимальный прирост наблюдался в 1950 (1,21 мм), 1984 (1,25 мм), 2010 (1,37 мм) годах. Минимальный прирост – в 1914 (0,75 мм), 1942 (0,77 мм), 1977 годах (0,78 мм), а также в период с 2015 по 2017 годы. Анализ корреляционной зависимости прироста сосны от климатических условий показал, что в наибольшей степени на рост и развитие изучаемых деревьев влияют температуры воздуха в июне предыдущего и текущего годов, коэффициент корреляции (R) здесь составляет 0,068 и 0,156, соответственно, а также с температурой октября предыдущего и текущего годов – 0,352 и 0,221, соответственно. Количество атмосферных осадков оказывает меньшее воздействие на прирост. Фактором роста и развития сосны в подзоне южной тайги на восточной окраине Русской равнины в большей степени является температура воздуха в осенние месяцы предыдущего и текущего годов, а также температура июня.

Ключевые слова: дендрохронология, сосна обыкновенная, прирост, климатические факторы, Пермский край, Нердвинский бор

Для цитирования: Гатина Е.Л., Югова И.А. Дендроклиматический анализ радиального прироста сосны обыкновенной в южной тайге на восточной окраине Русской равнины // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 2(69). С. 136–149. doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-136-149

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-136-149

DENDROCLIMATIC STUDIES OF SCOTCH PINE IN THE SOUTHERN TAIGA ON THE EASTERN EDGE OF THE RUSSIAN PLAIN

Evgenia L. Gatina¹, Irina A. Yugova²

Perm State University, Perm, Russia

¹ suslovael@mail.ru² irishka.yugova@gmail.com

Abstract. Regional dendroclimatological studies demonstrate the most accurate results when climatic responses of woody plants to changes in climatic factors are identified in one particular region. Coniferous trees are the most frequent object of observation in such studies as they are more longevous and sensitive to changes in external factors. The paper presents the results of dendroclimatic investigation of growth variability of Scotch pine (*Pinus sylvestris*) growing in the southern taiga on the eastern edge of the Russian Plain. Chronology construction and data analysis were performed using CooRecorder, CDendro, COFECHA, ARSTAN and R programs. The obtained tree-ring chronology of Scotch pine covers the time interval from 1822 to 2022, with a series duration of 201 years. The maximum growth was observed in 1950 (1.21 mm), 1984 (1.25 mm), 2010 (1.37 mm). The minimum increment was in 1914 (0.75 mm), 1942 (0.77 mm), 1977 (0.78 mm), and from 2015 to 2017. The analysis of correlation dependence of Scotch pine growth and climatic conditions showed that the growth and development of the studied trees have been most influenced by changes in air temperature in June of the of the previous year and current years, the correlation coefficient (R) is 0.068 and 0.156, respectively, as well as in October of the previous and current years - 0.352 and 0.221, respectively. The amount of precipitation has a smaller impact on growth. Thus, the factor of growth and development of Scotch pine on the eastern edge of the Russian Plain in the southern taiga subzone is mainly the air temperature in the fall months of the previous year and current year as well as the June temperature of the current year.

Keywords: dendrochronology, Scotch pine, growth, climatic factors, Nerdvinsky Bor

For citation: Gatina, E.L., Yugova, I.A. (2024). Dendroclimatic studies of Scotch pine in the southern taiga on the eastern edge of the Russian Plain. *Geographical Bulletin*. No. 2(69). Pp. 136–149. doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-136-149

Введение

Древесная растительность является важным биоиндикатором, позволяющим оценить наиболее благоприятные и неблагоприятные для роста периоды года как в настоящее время, так и в прошлом. В настоящее время большое внимание уделяется изучению влияния изменяющихся климатических условий на произрастание лесных сообществ за длительные интервалы времени в различных районах и местообитаниях. При этом для получения более точных результатов при дендроклиматических исследованиях стоит использовать региональные подходы. Также следует учитывать различия реакций видов деревьев в тех или иных регионах с локальными факторами.

Анализ климатического сигнала, отраженного в ширине годичных колец хвойных на севере и в центре европейской части России, показал, что в целом граница между деревьями, чувствительными к изменениям температур и гидротермического режима, проходит примерно на уровне 55–60° с.ш. [14, 8]. Установлено, что в северных широтах, например в Карелии, величина годичного радиального прироста зависит от температуры воздуха в начальный и конечный периоды вегетации [10]. Для Эстонии характерна корреляция с температурой воздуха в зимний и летний периоды, с осадками – весной и осенью [32]. В более южных широтах наблюдается положительное влияние осадков и отрицательное – температуры воздуха [19, 8]. Для сосны обыкновенной на европейском северо-востоке России в зональном аспекте древесно-кольцевые хронологии характеризуются неоднородностью климатического отклика. Основными положительными факторами, определяющими рост сосны, выступают температуры мая на территории северной тайги и северного Предуралья, температуры июля – в центральной части и на юге средней тайги. В условиях средней тайги описано отрицательное воздействие зимних и летних температур в сравнении с положительным воздействием летних осадков [13].

На сегодняшний день существует большой перечень научных публикаций, посвященных анализу влияния климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной, но для территории Пермского края этот вопрос остается неизученным.

Цель данного исследования – изучение климатического отклика годичного прироста сосны обыкновенной за длительный временной интервал в южной тайге на восточной окраине Русской равнины.

Материал и методы

Отбор образцов для составления древесно-кольцевой хронологии годичных колец сосны обыкновенной произведен вдали от зон с антропогенной нагрузкой, на территории ботанического памятника природы регионального значения «Нердвинский бор». ООПТ расположена в Карагайском муниципальном округе Пермского края и находится в подзоне южной тайги на восточной окраине Русской равнины. Площадь Нердвинского бора 49,0 га. Рельеф эрозионно-денудационного типа, сформированный на остаточно-инверсионной возвышенности и расчлененный эрозионными логами, устья которых выходят на пойму р. Нердвы. Средняя высота составляет 178 м н.у.м. [2]. Климат территории характеризуется как умеренно-континентальный с продолжительной холодной зимой и теплым, но коротким летом. Для сопоставления древесно-кольцевых хронологий со среднемесячными температурами и суммами осадков использовались данные метеорологической станции в г. Кудымкаре, которая является ближайшей к «Нердвинскому бору» [15]. В исследовании были использованы среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха и количество атмосферных осадков по метеостанции г. Кудымкара за период с 1948 по 2022 г., за исключением 1997 и 2000 гг., когда измерения не проводились [12]. Среднемесячные показатели температуры и количество осадков показаны на рис. 1.

Экология и природопользование

Гатина Е.Л., Югова И.А.

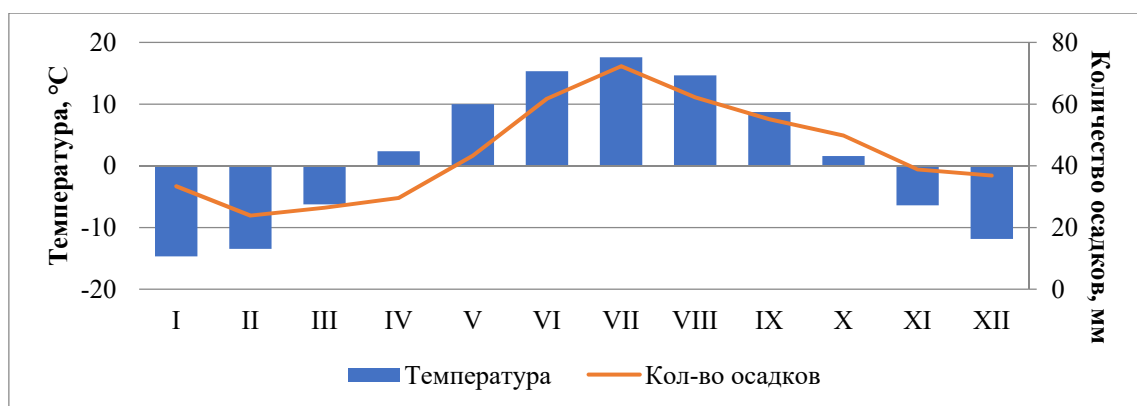


Рис. 1. График средних месячных показателей температуры и количества осадков для метеостанции г. Кудымкара за период с 1948 по 2022 г. (составлено по [15])

Fig.1 Monthly averages of temperature and precipitation for the meteorological station of Kudymkar for the period from 1948 to 2022 (compiled from [15])

Почвенный покров представлен дерново-среднеподзолистыми почвами.

В пределах ботанического памятника природы расположены светлохвойные и темнохвойные лесные сообщества. На западной окраине ООПТ произрастает темнохвойный лес кисличник. В северной части охраняемой территории, в верхней части склона, произрастает сосняк травяной. Растительное сообщество нижней части склона, спускающегося к р. Нердве и к пойменному лугу, представлено сосняком разнотравным. В логах растут смешанные сосново-еловые леса зеленомошники [2]. Особая научная, эстетическая, природоохранная ценность «Нердвинского бора» обусловлена необходимостью охраны насаждений сосны обыкновенной возрастом 120 лет и более [2].

Для проведения исследования в «Нердвинском бору» в разных частях ООПТ были заложены 3 пробные площадки (рис. 2).

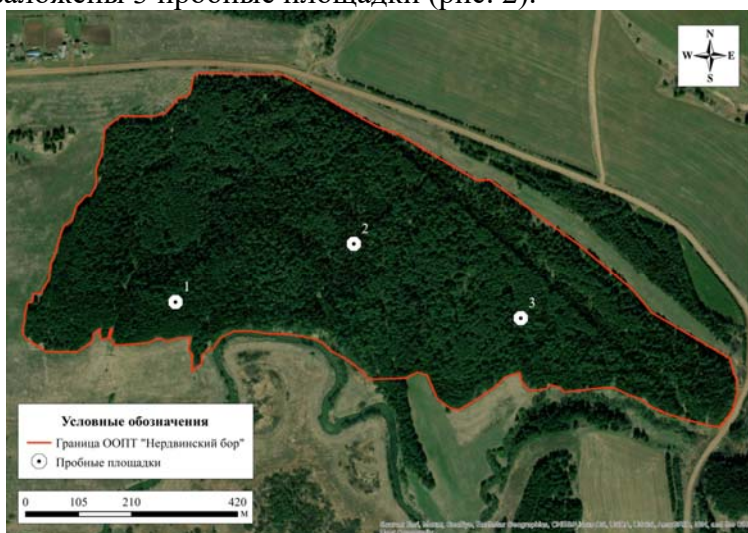


Рис. 2. Расположение пробных площадок на ООПТ «Нердвинский бор»

Fig.2 Sample sites in the Nerdvinsky Bor

сформированным с доминированием плевроциума Шребера. Средняя высота деревьев 20–28 м, сомкнутость крон 0,4.

3. Площадка №3 (географические координаты 58,716667 с.ш., 54,983333 в.д., рис. 3В) представлена сосняком зеленомошным с преобладанием в травянисто-кустарничковом ярусе типичного вида сосновых лесов костяники обыкновенной. Средняя высота деревьев 20–26 м, сомкнутость крон 0,3–0,4.

1. Площадка № 1 (географические координаты 58,716667 с.ш., 54,966667 в.д., рис. 3А) представлена смешанным сосново-еловым лесом с подростом ели сибирской и преобладанием в травянисто-кустарничковом ярусе линеи северной и щитовника шартрского. Средняя высота деревьев 18–22 м, сомкнутость крон 0,5–0,6.

2. Площадка № 2 (географические координаты 58,716667 с.ш.; 54,983333 в.д., рис. 3Б) представлена сосново-пихтовым лесом зеленомошным с наиболее развитым мохово-лишайниковым ярусом,



Рис. 3. Вид пробных площадок, фото: И.А. Югова

Fig.3 View of sample sites, photo by I.A. Yugova

А) Площадка № 1
сосново-еловый лес травяной
А) Sample site No.1
pine and spruce forest with grass layer

Б) Площадка № 2
сосново-еловый лес травяной
Б) Sample site No.2
pine and silver fir green-moss forest

В) Площадка № 3
сосново-еловый лес травяной
В) Sample site No. 3
pine green-moss forest

С каждой пробной площадки в мае 2023 г. отобрано по 25 образцов кернов сосны обыкновенной. Всего было проанализировано 75 образцов. Характеристика обследованных деревьев приведена в табл.

Методы исследования. В работе применялся стандартный дендрохронологический метод для построения древесно-кольцевой хронологии прироста сосны обыкновенной. Радиальные керны сосны диаметром 4–5 мм и длиной до 50 см высверливались буровом Пресслера. Образцы древесины отбирались перпендикулярно продольной оси ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли [1, 21, 23].

Для отбора образцов использовались деревья, формирующие полог леса (первый ярус древостоя), по возможности, цилиндрической формы, здоровые, без значительных повреждений. У каждого дерева вычислялась высота при помощи портативного высотомера SUUNTO PM-5/1520 РС механического типа. Диаметр деревьев определялся на высоте 1,3 м в двух направлениях с применением профессиональной мерной вилки Haglof Mantax Black.

Высверленные керны помещались в бумажные конверты, на которых указывался код керна, диаметр ствола, высота дерева и дата отбора пробы [21]. Конверты с боковых частей закрывались бумагой для того, чтобы не было поломки и утери кернов в ходе транспортировки [23].

Перед проведением исследования керны наклеивались на деревянную подложку, где поверхность керна зачищалась канцелярским ножом для улучшения видимости годовичных колец и дальнейшего анализа [23].

Поверхность деревянных кернов сканировалась на устройстве Epson Perfection V10 с разрешением 1200 dpi. Далее керны измерялись в программе Coorecorder, CDendro с точностью до 0,001 мм [33].

Для контроля выполненных измерений и поиска выпадающих и ложных колец применялась программа COFESHA, коррелирующая между собой все исследуемые образцы и выявляющая проблематичные участки, если они присутствуют. Статистически значимым установлен коэффициент корреляции более 0,3281. Низкое значение корреляции указывает на ошибку датирования определенного участка керна или всего образца [20, 29]. В этом случае керн измеряли заново [5].

Образцы, прошедшие процесс перекрестной датировки, объединялись для создания локальной хронологии. Процедура стандартизации, или индексирования, проводилась в программе ARSTAN. В результате из хронологии каждого образца удалялся возрастной тренд [27, 30].

Для графического отображения ширины годичных колец использована программа RStudio, пакет DpIR в среде R. Это позволило построить хронологии, интерактивно удалить возрастной тренд и провести помесечный корреляционный анализ полученной древесно-кольцевой хронологии [25, 26].

Результаты исследования

Установлено, что на всех площадках наблюдений деревья разновозрастные. На площадке № 1 средний возраст деревьев – 86 лет, минимальный – 64 года, максимальный – 136 лет. Древесно-кольцевая хронология с первой пробной площадки охватывает временной интервал с 1887 по 2022 г. Для площадки № 2 в центральной части Нердвинского бора средний возраст деревьев – 185 лет, минимальный – 145 лет, максимальный – 201 год. Древесно-кольцевая хронология соответствует временному интервалу с 1822 по 2022 г. С третьей пробной площадки в восточной части бора получили древесно-кольцевую хронологию, охватывающую период времени с 1834 по 2022 г. (189 лет). Средний возраст деревьев составил 135 лет, максимальный возраст дерева с площадки – 189 лет, минимальный – 89 лет. В целом максимальный возраст – 201 год – отмечен у двух деревьев, произрастающих на площадке № 2 в центральной части Нердвинского бора. Минимальный возраст составил 64 года у одного дерева с площадки № 1 (табл. 1).

Все исследованные сообщества являются разновозрастными, естественными по происхождению древостоев. Сообщества в центральной части бора соответствуют понятию старовозрастные леса.

Для анализа изменения прироста ширины годичных колец образцы объединяли в локальные хронологии по площадкам после того, как они были простандартизированы в программе ARSTAN для удаления возрастного тренда. В результате получены временные ряды радиального прироста, отражающие колебания ширины годичных колец по годам у учтенных деревьев по пробным площадкам.

Таким образом, наиболее короткая хронология получена с первой площадки (возраст 136 лет), территория находится ближе к опушке леса, здесь произрастают относительно молодые по возрасту деревья (рис. 4).

Наиболее длинная хронология получена со второй площадки (возраст 201 год) в центральной части бора.

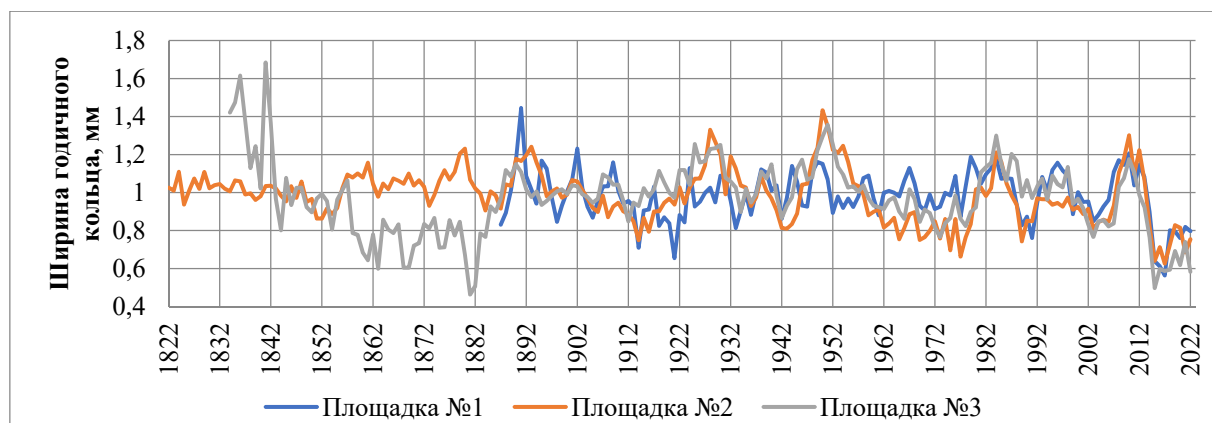


Рис. 4. Динамика ширины годичных колец по хронологиям с каждой пробной площадкой на изученной территории

Fig. 4. Dynamics of annual ring widths by chronologies from each sample site

Таблица

Характеристика обследованных деревьев на пробных площадках
 Characterization of the surveyed trees in the sample sites

№ ПП	№ об- разца	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	№ ПП	№ об- разца	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	№ ПП	№ об- разца	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет
1	1	41,4	23	70	2	1	44,6	22	189	3	1	52,5		134
	2	36,9	18	66		2	50,3	25	194		2	55,1	26	123
	3	33,4	18	77		3	58,9	27	190		3	41,7	20	189
	4	29	17	74		4	52,9	26	188		4	47,8	23	127
	5	57,3	26	124		5	57,3	27	194		5	48,1	23	123
	6	46,5	21	120		6	47,5	25	201		6	53,5	23	127
	7	49,4	24	136		7	58,9	28	201		7	52,6	25	134
	8	48,7	22	128		8	52,2	26	191		8	44,9	23	89
	9	35,4	18	132		9	66,2	28	177		9	52,6	25	130
	10	30,3	18	76		10	65,9	28	193		10	46,5	22	137
	11	31,9	18	78		11	60,5	27	192		11	51,9	26	134
	12	32,2	18	79		12	53,5	26	196		12	40,1	20	120
	13	25,8	17	80		13	48,7	23	191		13	43,3	21	138
	14	45,9	23	106		14	54,1	26	178		14	47,1	23	139
	15	24,8	17	76		15	44,6	24	145		15	45,2	22	138
	16	36,3	20	79		16	51,3	26	179		16	55,7	26	132
	17	39,2	20	68		17	37,6	20	161		17	44,6	23	137
	18	36,3	20	73		18	47,5	22	179		18	48,7	23	134
	19	36	19	74		19	61,8	29	190		19	58,6	25	130
	20	30,3	18	71		20	52,6	26	180		20	42	20	133
	21	33,8	19	64		21	44,9	23	192		21	60,5	26	128
	22	29,3	18	71		22	56,1	26	182		22	45,9	22	138
	23	27,4	17	78		23	49,7	23	175		23	55,4	26	177
	24	40,1	23	82		24	41,7	22	192		24	53,8	24	133
	25	29	17	75		25	50	25	189		25	56,7	26	140
Среднее значение	-	36,3	19,6	86,3	-	-	52,4	25,2	185,6	-	-	49,8	23,5	134,6

Сравнивая между собой хронологии деревьев каждой пробной площадки, видим общую тенденцию изменения прироста ширины годичных колец, начиная с 1884 г. Но с 1834 до 1884 г. присутствует сильное расхождение между хронологиями площадок № 2 и 3.

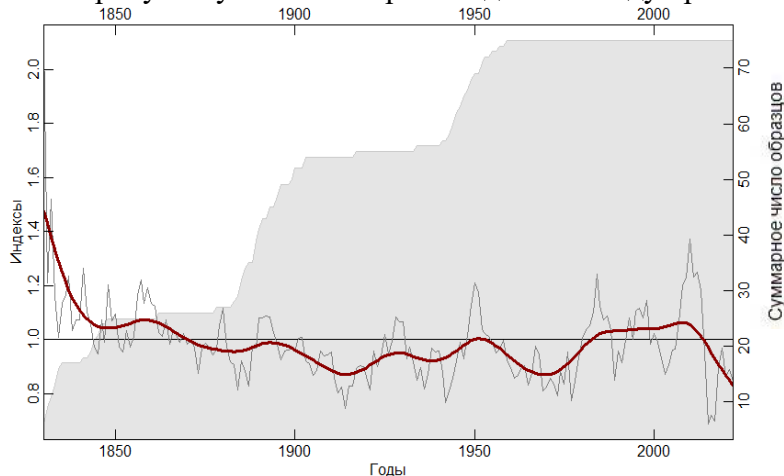


Рис. 5. Обобщенная древесно-кольцевая хронология по ширине годичных колец сосны обыкновенной на исследуемой территории*

*где кривая темно-серого цвета – обобщенная древесно-кольцевая хронология, кривая красного цвета – линия сплайна, количество образцов в определенном году показано серым цветом на фоне кривых

Fig. 5. Generalized tree-ring chronology based on the width of pine annual rings*

* the dark grey curve is the generalized tree-ring chronology; the red curve is a spline line; the number of specimens in a particular year is shown in grey against the curves

Наблюдается резкое снижение прироста деревьев с площадки № 3. Это обусловлено небольшим количеством отобранных деревьев (всего 2 дерева) за рассматриваемый промежуток времени. Для дальнейшего получения достоверных результатов хронологии двух деревьев с площадки № 3 были исключены, поскольку это влияет на достоверность хронологии.

После объединения хронологий получена одна обобщенная древесно-кольцевая хронология по ширине годичных колец сосны длительно-стью ряда в 201 год с 1822 по 2022 г. (рис. 5).

Анализируя обобщенную древесно-кольцевую хронологию, можно выделить ярко выраженные годы минимумов прироста у сосны обыкновенной. К ним относятся 1977 г. – 0,78 мм; 1942 г. – 0,77 мм; 1914 г. – 0,75 мм. К годам с наибольшим приростом относятся 2010 г. – 1,37 мм; 1984 г. – 1,25 мм.

Обобщенная древесно-кольцевая хронология послужила основой для нахождения связей средних значений прироста годичных колец с изменениями климатических параметров. Как известно из литературы, основными климатическими факторами, влияющими на рост деревьев, являются количество атмосферных осадков и температура воздуха за вегетационный период (начиная с апреля по октябрь) [16, 20, 21, 28, 31]. Однако для выявления связей первоначально необходимо убедиться, какой именно климатический фактор в большей степени влияет на прирост годичных колец изучаемой породы. Зависимость прироста годичных колец сосны обыкновенной от среднегодовой температуры за вегетационный период и от среднегодового количества осадков в районе исследования представлена на рис. 6 и 7.

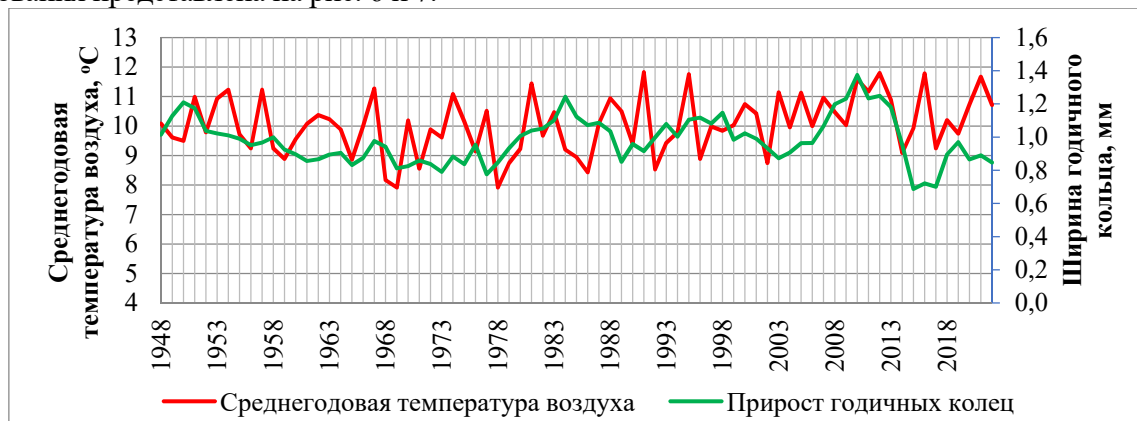


Рис. 6. Прирост годичных колец сосны обыкновенной (мм) и среднегодовая температура за вегетационный период в районе исследования (°C)

Fig.6. Growth of annual rings of Scotch pine (mm) and average annual temperature during the vegetation period (°C) in the study area

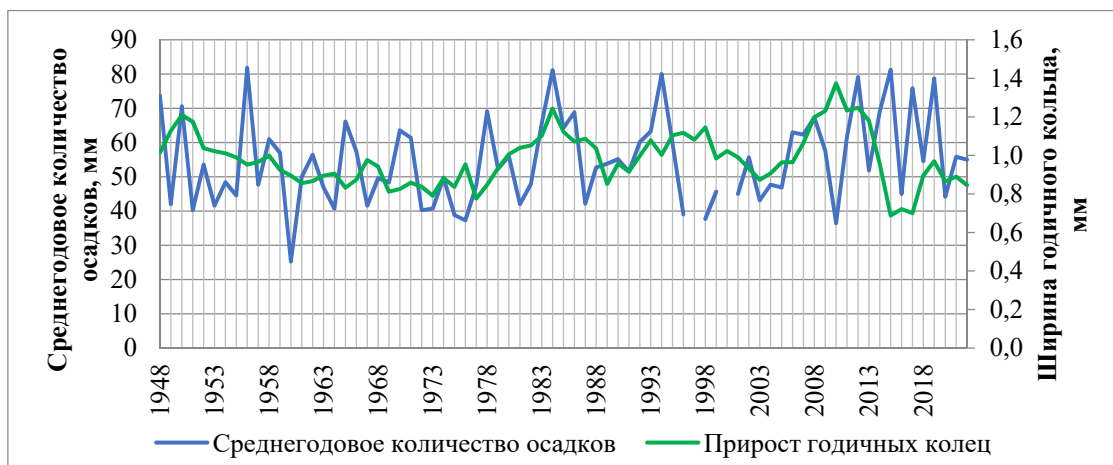


Рис. 7. Прирост годичных колец сосны обыкновенной (мм) и среднегодовое количество осадков в районе исследования (мм/год)

Fig.7. Growth of annual rings of Scotch pine (mm) and average annual precipitation (mm/year) in the study area

Из рис. 6 видно, что прослеживаются годы, в которые из-за относительно низких среднегодовых температур наблюдается уменьшение ширины годичного кольца, а в наиболее теплые периоды – увеличение. Так в 1965, 1969, 1973, 1989, 2015 и 2017 годах прослеживался наименьший прирост 0,83, 0,81, 0,79, 0,85, 0,69 и 0,70 мм соответственно с относительно низкой температурой. При повышении температуры воздуха наблюдается прирост сосны обыкновенной, который приурочен к 1951, 2008, 2010 и 2012 годам с шириной годичных колец равных 1,18, 1,20, 1,37 и 1,25 мм, соответственно.

Анализ графиков прироста годичных колец сосны и среднегодового количества осадков показал годы, в которые был максимальный прирост за счет обильных осадков и минимальный прирост из-за небольшого количества осадков. Так, в 1969, 1973, 2003 и 2020 гг. при низком количестве осадков наблюдается снижение ширины годичных колец – 0,81, 0,79, 0,87 и 0,87 мм соответственно. А в 1950, 1958, 1984, 2008 и 2012 гг. при обильных осадках ширина годичных колец максимальна и равна 1,21, 1,00, 1,24, 1,20 и 1,25 мм соответственно.

Корреляция между индексами хронологий и значениями среднемесячных температур воздуха, а также месячной суммой атмосферных осадков за временной период с апреля предыдущего года по декабрь текущего года представлена на рис. 8.

На графике отчетливо видно, что прирост сосны в исследуемом районе положительно коррелирует с показателями температур в июне текущего года, коэффициент корреляции (R) здесь минимален, но положительный и составляет 0,156, а также с температурой октября предыдущего и текущего годов – 0,352 и 0,221. Следовательно, прирост сосны в Нердвинском бору зависит от значений температуры в указанные месяцы. Кроме этого, в данных месяцах обнаруживаются почти нулевые и минимальные значения климатического отклика на количество осадков ($R = 0,008$ и $-0,061$ за июнь предыдущего и текущего годов соответственно; 0,125 и 0,010 за октябрь предыдущего и текущего годов соответственно), что свидетельствует о том, что фактором, в большей степени определяющим рост и развитие сосны на изучаемой территории, является показатель температуры. Скорее всего, это связано с хорошей влагообеспеченностью территории. Пониженные значения февральских температур текущего года отрицательно влияют на рост и состояние деревьев, поэтому могут приводить к формированию экстремально узких колец.

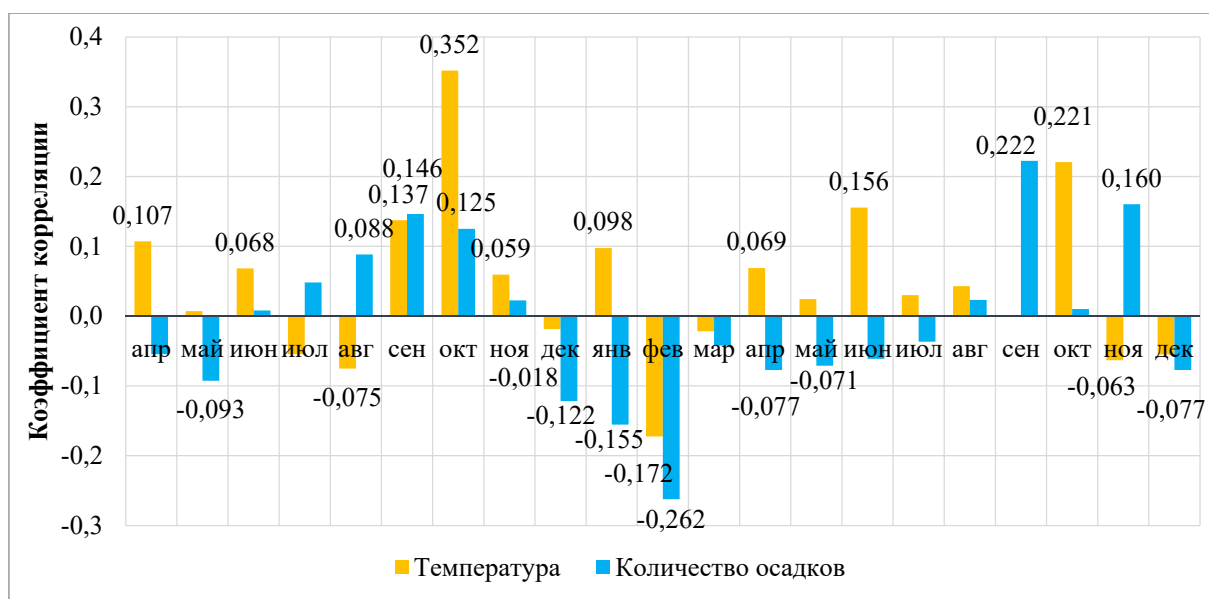


Рис. 8. График корреляции между индексами хронологий и значениями среднемесячных температур воздуха и месячной суммы атмосферных осадков за период с апреля предыдущего года по декабрь текущего с 1948 по 2022 г. на изучаемой территории

Fig. 8. Correlation between chronology indices and the values of average monthly air temperatures and monthly atmospheric precipitation for the period from April of the previous year to December of the current year from 1948 to 2022

Корреляция количества атмосферных осадков за летний период текущего и предыдущего годов в большей степени показывает отрицательное значение корреляционных коэффициентов. Наибольшие отрицательные значения характерны для суммы осадков в зимние месяцы: декабрь прошлого года (-0,122), январь и февраль текущего года (-0,155 и -0,262 соответственно). Исключение составляют август и сентябрь текущего и предыдущего годов, а также июнь и июль предыдущего года, значение корреляции которых положительное, но незначительное ($R=0,008-0,088$). Наибольший корреляционный коэффициент зависимости прироста от суммы атмосферных осадков приходится на осенние месяцы. Стоит также обратить внимание, что осадки текущего года меньше влияют на прирост, в отличие от прошлого года.

Более подробные результаты можно получить с помощью графика устойчивости климатической функции отклика во времени, начиная с июля прошлого года по октябрь текущего (рис. 9). Результаты демонстрируют временную неустойчивость дендроклиматических связей, которые меняют свой знак. Для большинства коэффициентов характерны временные колебания.

Корреляция температур и прироста сосны позволяет выделить периоды, которые с 1948 по 2022 г. не меняют знак корреляции, на протяжении длительного времени одинаково воздействуют на рост деревьев. К таким месяцам относятся сентябрь и октябрь прошлого года, а также октябрь текущего.

Анализируя влияние количества осадков на прирост деревьев, отмечается, что осадки января, февраля и марта текущего года не меняют знак корреляции и имеют выраженный отрицательный коэффициент, означающий отсутствие влияния осадков на прирост деревьев. Только осадки октября предыдущего года и сентября текущего имеют положительный коэффициент.

Экология и природопользование

Гатина Е.Л., Югова И.А.

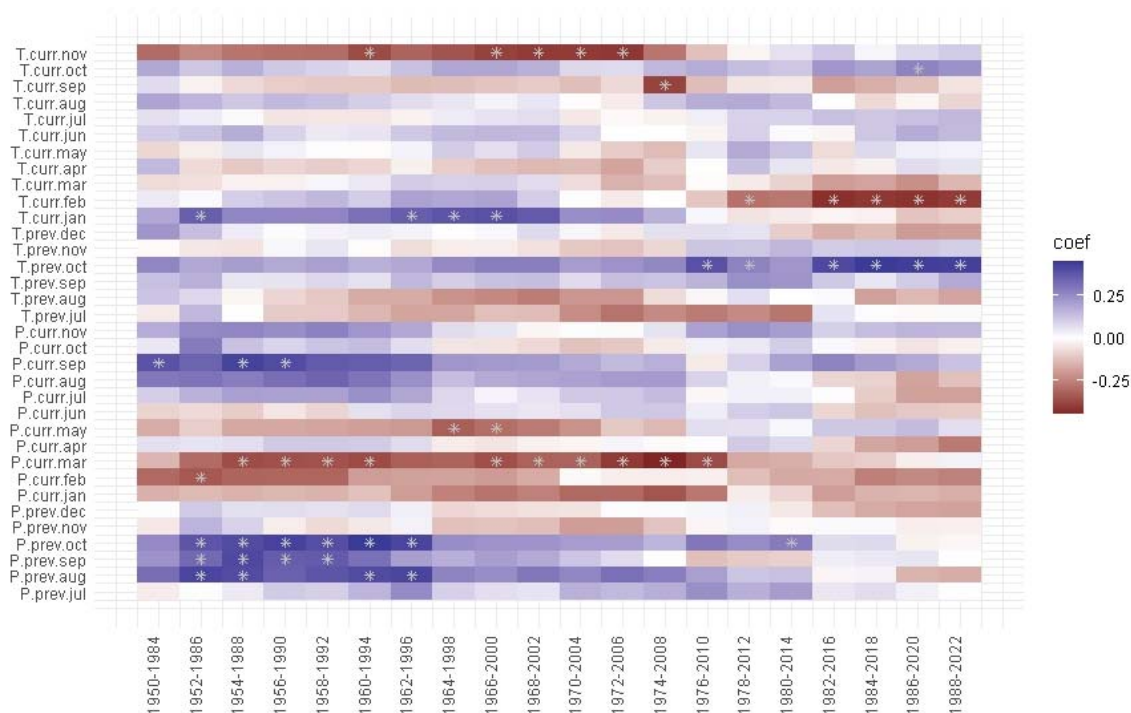


Рис. 9. График устойчивости климатической функции отклика во времени за период с 1948 по 2022 г. на исследуемой территории*

* Значимые корреляционные связи, показывающие наиболее сильное влияние температуры воздуха или количества атмосферных осадков за определенный интервал времени, обозначены *

Fig.9. Stability diagram for the climate response function for the period from 1948 to 2022*.

* Significant correlations showing the strongest influence of air temperature or precipitation over a certain time interval are labeled *.

Сопоставляя данные по корреляции между индексами хронологий и значениями среднемесячных температур воздуха, а также месячной суммы атмосферных осадков за период с апреля предыдущего года по декабрь текущего и данные по устойчивости климатической функции отклика во времени за период с 1948 по 2022 г., можно утверждать, что на рост и развитие сосны обыкновенной в Нердвинском бору в большей степени оказывают воздействие изменения температуры воздуха.

Обсуждение

Проведенный корреляционный анализ прироста сосны обыкновенной от климатических параметров показал, что на рост и развитие деревьев в большей степени оказывает влияние температура воздуха. Это соотносится с ранее полученными данными. За счет того, что изучаемая территория находится в умеренно-континентальном климате, для которого характерны невысокие температуры воздуха, на приросте деревьев благоприятно сказывается их повышение. В свою очередь, низкие температуры приводят к накоплению влаги. Соответственно, при повышении температуры понижается степень переувлажненности и происходит увеличение ширины годичных колец. Кроме того, положительная связь приростов с летними температурами в холодных районах увеличивает интенсивность фотосинтеза и продлевает сезон вегетации. Но стоит учесть, что если температура поднимется выше некоторой оптимальной нормы для вида, то происходит угнетение прироста [4, 8, 24]. Подобный результат был показан в ряде работ. Так, для Ленинградской области установлено, что основное положительное влияние на величину радиального прироста оказывает среднегодовая температура воздуха [17]. Значимый положительный отклик прироста сосны на увеличение температур июня наблюдается в средней тайге в сосняках на западе республики Коми и в южной тайге [13].

Для более северных районов установлен положительный сигнал к увеличению температуры воздуха июля-августа и положительный сигнал к увеличению количества осадков сентября текущего года для сосняков, произрастающих в мезотрофных условиях, в то время как сосны из заболоченных местообитаний не показали сходных признаков отклика на климатические параметры [5]. На территории Мещерской низменности в Рязанской области О.С. Железновой и С.А. Тобратовым установлено, что в переувлажненных местообитаниях наблюдается положительный отклик прироста сосны на рост температуры и отрицательный – на увеличение осадков осени предыдущего года [7].

Климатический отклик сосны обыкновенной, изучаемой в данной работе, совпадает с откликом сосны обыкновенной на территории г. Москвы и Мордовии [8], а также Ленинградской области [17]. На перечисленных территориях прирост ширины годичных колец в большей степени зависит от изменений температуры воздуха, которая выступает лимитирующим фактором для роста и развития сосны обыкновенной.

Если продвигаться южнее, то определяющее положительное значение начинает играть количество осадков летнего периода и чаще отрицательным становится климатический отклик на температуры июля и августа. Так, Д.В. Тишин, Н.А. Чижикова и В.В. Мацковский при выявлении отклика прироста годичных колец сосны обыкновенной с территории Жигулевского государственного природного биосферного заповедника им. И.И. Спрыгина (Самарская область) на климатические показатели (количество осадков и температура воздуха) установили, что на прирост годичных колец значительное положительное влияние оказывает количество атмосферных осадков, в большей степени осадков февраля и августа. Изменение температуры практически не влияет на рост сосны обыкновенной (выявлен отрицательный корреляционный коэффициент температуры с мая по сентябрь). Территория подвержена атмосферным засухам, которые являются лимитирующим фактором роста и развития деревьев [22].

Исследования сосны обыкновенной в Юго-Восточном Забайкалье и в Центральном Казахстане, находящихся южнее 54 градусов северной широты, показывают положительный климатический отклик на изменения количества выпадающих осадков, поскольку территории характеризуются теплым климатом, где часто возникают засухи. При высоких температурах происходит сильное испарение влаги и, как следствие, возникает недостаток влаги, что негативно сказывается на приросте деревьев [7, 22].

По данным М.В. Ермохина, в Беларуси показано ярко выраженное снижение лимитирующего влияния атмосферных осадков с продвижением с юга на север и усиление роли равновесных температур воздуха в приросте сосны обыкновенной. Так, для южной Беларуси на примере суходольных насаждений Беловежской пуши выявлена положительная связь прироста сосны с июньскими и июльскими осадками, отрицательная с майскими и июньскими температурами. В северной части, наоборот, важную роль играют весенние и зимние температуры. В результате сложившихся тенденций и прогнозов потепления климата есть возможность ожидать в последующие годы снижения прироста у сосны в южных регионах, а в центральных и северных, наоборот, его увеличения [6].

Заключение

Деревья с наибольшим возрастом (201 год) встречаются в центральной части Нердвинского бора, с наименьшим (64 года) – на опушке леса. Все исследованные сообщества являются разновозрастными, естественными по происхождению древостоев. Сообщества в центральной части бора соответствуют понятию старовозрастные леса, что важно с учетом длительной истории хозяйственного освоения территории Пермского Предуралья.

Полученная древесно-кольцевая хронология сосны обыкновенной, произрастающей в южной тайге на восточной окраине Русской равнины, охватывает временной интервал с 1822 по 2022 г. длительностью ряда в 201 год. Максимальный прирост наблюдался в 1950, 1984, 2010 гг., минимальный прирост – в 1914, 1942, 1977 гг., а также в период с 2015 по 2017 г.

Значения наибольшего прироста следующие: 2010 г. – 1,37 мм; 1984 г. – 1,25 мм. Значения наименьшего прироста: 1977 г. – 0,78 мм; 1942 г. – 0,77 мм; 1914 г. – 0,75 мм.

Основными факторами, определяющими рост сосны, выступают температуры июня предыдущего и текущего годов и октября предыдущего и текущего годов, поскольку высокая температура июня благоприятствует росту деревьев, а резкое снижение температуры в октябре, наоборот, угнетает, приостанавливает рост годовичных колец. Осадки, по сравнению с температурой, оказывают значительно меньшее воздействие на радиальный прирост сосны.

При сравнении полученных данных с другими исследованиями синхронно отмечается, что отклик сосны на изменения температуры воздуха и количество осадков зависит от условий местопроизрастания. Чем севернее находится территория местопроизрастания (севернее 54–55 градусов северной широты), тем в большей степени лимитирующим фактором будет являться изменение температуры воздуха. Чем южнее территория (южнее 54–55 градусов северной широты), тем на прирост деревьев большее воздействие будут оказывать выпадающие осадки. Полученные данные по климатическому отклику сосны обыкновенной совпадают с откликом сосны обыкновенной на территории г. Москвы и Мордовии, где определяющим фактором также выступает температура.

Опубликованные результаты дендроклиматического анализа являются первыми для Пермского Прикамья. В будущем такие данные могут быть полезны для продолжения дендрохронологических и дендроклиматических работ в регионе, а также для исследований в области лесной экологии, климатологии и палеоэкологии.

Список источников

1. Андреев Д.Н., Хотяновская Ю.В. Анализ изменения радиального прироста ели сибирской (*Picea obovata*) и пихты сибирской (*Abies sibirica*) на территории заповедника «Вишерский» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 2. С. 30–34.
2. Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. 516 с.
3. Бердникова А.А., Долгова Е.А., Курбанов Р.Н. Дендроклиматические исследования сосны кулундинской Казахского мелкосопочника // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. № 5. С. 86–96.
4. Вахнина И.Л., Обязов В.А., Замана Л.В. Динамика увлажнения в степной зоне Юго-Восточного Забайкалья с начала XIX столетия по кернам сосны обыкновенной // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2018. № 2. С. 28–33.
5. Долгова Е.А., Соломина О.Н., Мацковский В.В., Добрянский А.С., Семеняк Н.А., Шпунт С.С. Пространственная изменчивость прироста сосны на Соловецких островах // Известия Российской академии наук. Серия Географическая. 2019. № 2. С. 41–50. URL: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019241-50>
6. Ермохин М.В. Дендрохронологическое районирование сосны обыкновенной в Беларуси // Весці Нацыянальнай Акадэміі Навук Беларусі. Серыя Біялагічных Навук. 2020. № 4(65). С. 441–453. URL: <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-441-453>.
7. Железнова О.С., Тобратов С.А. Влияние климата на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных местообитаниях Мещерской низменности // Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая. 2019. № 5. С. 67–77. URL: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019567-77>.
8. Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным / И.С. Бушуева, Е.А. Долгова, А.Н. Золотокрылин [и др.]. Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Нестор-История», 2017. 360 с.
9. Карагайский район // Мы-земляки. Журнал о Пермском крае и его жизни. URL: <https://www.mizemlyaki.ru/news/419-2011-11-25-13-11-57.html> (дата обращения: 20.04.2023).
10. Кищенко И.Т. Сезонный рост ствола сосны в южной и северной Карелии / И.Т. Кищенко, И.В. Грудинин // Лесоведение. 1985. № 3. С. 20–25.
11. Климат в селе Нердва ежемесячно. URL: <https://goodmeteo.ru/pogoda-nerdva-karagayskiy-permskiy/god/> (дата обращения: 20.04.2023).
12. Климатические нормы для г. Кудымкара. Гидрометцентр России. URL: <https://meteoinfo.ru/climatecities?p=1732> (дата обращения: 04.06.2022).
13. Кутявин И.Н., Манов А.В. Дендроклиматический анализ радиального прироста сосны (*Pinus sylvestris* L.) на европейском Северо-Востоке России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86(4). С. 547–562. URL: <https://doi.org/10.31857/S2587556622040070>

14. Мацковский В.В. Климатический сигнал в ширине годовичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской территории России. М.: ГЕОС, 2013. 148 с.
15. Метеорологическая станция в г. Кудымкар. Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <https://meteo.perm.ru/meteostantsii-permskogo-kraya/29-meteorologicheskaya-stantsiya-v-g-kudymkar> (дата обращения: 20.04.2023).
16. Методы анализа дендроклиматических данных и их применение для территории Сибири: учеб. пособие / В.В. Шишов, И.И. Тычков, М.И. Попкова. ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Красноярск, 2015. 210 с.
17. Никифорчин И.В., Ветров Л.С., Гурьянов М.О., Садовникова А.А. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в Ленинградской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020. № 2. С. 34–45. URL: <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2020.2.34>
18. Погода в Кудымкаре. Справочно-информационный портал «Погода и климат». URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/28116_2.htm (дата обращения: 20.04.2023).
19. Рогальский А.И., Черкашин В.П. Влияние экологических условий на прирост сосны по диаметру в Инском бору (Минусинская котловина) // Временные и пространственные изменения климата и годовичные кольца деревьев. Каунас, 1987. Ч. 3. С. 13–21.
20. Семеняк Н.С., Соломина О.Н., Долгова Е.А., Мацковский В.В. Климатический сигнал в различных параметрах годовичных колец сосны обыкновенной на Соловецком Архипелаге // Геосферные исследования. 2022. № 4. С. 149–164. doi:10.17223/25421379/25/10.
21. Тишин Д.В., Чижилова Н.А. Дендрохронология: уч. пособие. Казань: Казанский ун-т, 2018. 34 с.
22. Тишин Д.В., Чижилова Н.А., Мацковский В.В. Дендрохронологические исследования *Pinus sylvestris* L. Жигулевского государственного природного биосферного заповедника им. И.И. Спрыгина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 4. С. 69–71.
23. Хотяновская Ю.В. Отбор древесных кернов для проведения дендрохронологических исследований // Антропогенная трансформация природной среды. 2015. № 1. С. 69–73.
24. Чжан С., Колмогоров А.И. Дендрохронология и климатическая корреляция в среднем и нижнем течении реки Лена // Актуальные научные исследования: сб. статей XI Международной науч.-практ. конф. Пенза, 2023. С. 365–369.
25. Bunn A.G. A dendrochronology program library in R (dplR) // Dendrochronologia. 2008. Vol. 26, Iss. 2. P. 115–124. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002> (дата обращения: 09.06.2022).
26. Bunn A.G. Statistical and visual crossdating in R using the dplR library // Dendrochronologia. 2010. Vol. 28, Iss. 4. P. 251–258. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.12.001> (дата обращения: 09.06.2022).
27. Dr. Cookand E.R., Krusic P.J. A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics. 2005. URL: <https://studylib.net/doc/9022257/program-arstan> (дата обращения: 04.06.2022).
28. Gauli A., Neupane P.R., Mundhenk P., Köhl M. Effect of Climate Change on the Growth of Tree Species: Dendroclimatological Analysis. Forests. 2022. «№ 13. 496 p. URL: <https://doi.org/10.3390/f13040496>
29. Grissino-Mayer H.D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA: research report // Tree-ring research. USA. 2001. Vol. 57(2). P. 205–221.
30. Holmes R.L., Adams R.K., Fritts H.C. Tree-Ring chronologies of western North American, California, Eastern Oregon and Northern Great Basin with procedures used in the chronology development work including users manuals for computer programs COFECHA and ARSTAN. University of Arizona. Tucson. Arizona. 1986. 185 p.
31. Meko DM., Touchan R., Anchukaitis KJ. Seacorr: A MATLAB program for identifying the seasonal climate signal in an annual tree-ring time series. Computers & Geosciences. 2011. P. 1234–241.
32. Priit K. Climate–radial increment relationships in Estonian conifer stands / K. Priit // Изв. АН Эстонии. 1992. Vol. 2, № 1. P. 22–27.
33. Using Coorecorder to measure tree ring widths, blue channel data or plotted curves. URL: <http://www.cybis.se/forfun/dendro/helpcoorecorder7/index.htm> (Дата обращения: 04.06.2022).

Статья поступила в редакцию: 15.11.23, одобрена после рецензирования: 10.04.2024, принята к опубликованию: 13.05.2024

The article was submitted: 15 November 2023; approved after review: 10 April 2024; accepted for publication: 13 May 2024.

*Экология и природопользование**Гатина Е.Л., Югова И.А.*

Информация об авторах

Евгения Леонидовна Гатина

кандидат биологических наук, доцент кафедры био-
геоценологии и охраны природы, географический
факультет, Пермский государственный националь-
ный исследовательский университет;
614068, Пермь, ул. Букирева, 15;

Ирина Анатольевна Югова

магистрант географического факультета, Пермский
государственный национальный исследовательский
университет
614068, Пермь, ул. Букирева, 15

Information about the authors

Evgeniya L. Gatina

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Department of Biogeocenology and Nature Conserva-
tion, of the Faculty of Geography, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: suslovael@mail.ru

Irina A. Yugova

Student, Faculty of Geography, Perm State University

15, Bukirev St., Perm, 614068

e-mail: irishka.yugova@gmail.com

Вклад авторов

Гатина Е.Л. – идея, постановка задач исследования, анализ данных, анализ и интерпретация результатов исследования, научное редактирование текста.

Югова И.А. – проведение полевых работ, сбор и обобщение данных, написание текста статьи, написание текста статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Evgeniya L. Gatina – idea, setting of research objectives, data analysis, analysing and interpreting results, scientific editing of the text.

Irina A. Yugova – conducting fieldwork, data collection and summarisation, writing the text of the article, writing the text of the article.

Conflict of interest. The authors declare there is no conflict of interest.