

Экология и природопользование  
Г атина Е .Л., Ю ова И.А.

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 Г атина<sup>1</sup>, Ирина Анатольевна Ю ова<sup>2</sup> Пермский государственный

национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>1</sup> suslovael@mail.ru

<sup>2</sup> irishka.yugova@gmail.com

**Аннотация.** Региональные дендроклиматологические исследования дают наиболее точные результаты при обнаружении климатических откликов древесных растений на изменение климатических факторов в одних и тех же регионах. Наиболее часто встречающимся объектом в подобных исследованиях являются хвойные деревья, так как они более заметны и чувствительны к изменениям внешних факторов. В результате представлена дендроклиматическая оценка радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), производящей работу в южной тайге на восточной окраине Русской границы. Построение хронологии и анализ данных выполнены с использованием программ CooRecorder, CDendro, COFECHA, ARSTAN и R. Полученная древеснокольцевая хронология сосны с соответствующим временным интервалом с 1822 по 2022 г. длительностью 201 г. Максимальный прирост наблюдался в 1950 (1,21 мм), 1984 (1,25 мм), 2010 (1,37 мм) годах. Минимальный прирост – в 1914 г. (0,75 мм), 1942 г. (0,77 мм), 1977 г. (0,78 мм), а также в период с 2015 по 2017 г. годы. Сравнительный анализ прироста сосны от климатических условий показал, что в наибольшей степени роста и развития изучаемых закономерностей зависит температура воздуха в июне и нынешние годы,

Коэффициент корреляции (R) здесь составляет 0,068 и 0,156 соответственно, а также с температурой октября текущего года – 0,352 и 0,221 соответственно.

Количество атмосферных воздействий оказывает меньшее воздействие на прирост. Фактор роста

и развитие сосны в подзоне южной тайги на восточной окраине Российской Федерации в большей степени являются температурой воздуха в осенние месяцы и современные годы, а также температура июня. Ключевые слова:

дендрохронология, сосна обыкновенная, прирост, климатические факторы, Пермский край, Нердвинский бор Для цитирования: Г атина Е .Л., Ю ова

И.А. Дендроклиматический анализ радиального прироста сосны обыкновенной в южной тайге на восточной окраине Русской границы //

Географический вестник = Географический вестник. 2024. № 2(69). С. 136–149. doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-136-149

Оригинальная

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

ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЮЖНОЙ ТАЙГЕ  
НА ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Евгения Львовна Г атина<sup>1</sup>, Ирина А Ю ова<sup>2</sup>

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>1</sup> suslovael@mail.ru

<sup>2</sup> irishka.yugova@gmail.com

**Аннотация.** Региональные дендроклиматологические исследования демонстрируют наиболее точные результаты, когда климатические реакции древесных растений на изменение климатических факторов выявляются в одном конкретном регионе. Хвойные деревья являются наиболее частым объектом наблюдения в таких исследованиях, поскольку они более долговечны и чувствительны к изменениям внешних факторов. В статье представлены результаты дендроклиматической оценки исследования изменчивости прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), произрастающей в южной тайге на восточной окраине Русской равнины. Построение хронологии и анализ данных выполнялись с использованием программ CooRecorder, CDendro, COFECHA, ARSTAN и R. Полученная древеснокольцевая хронология сосны обыкновенной охватывает временной интервал с 1822 по 2022 г., длительностью 201 г. Максимальный прирост наблюдался в 1950 г. (1,21 мм), 1984 г. (1,25 мм), 2010 г. (1,37 мм). Минимальный прирост был в 1914 г. (0,75 мм), 1942 г. (0,77 мм), 1977 г. (0,78 мм) и с 2015 по 2017 г. Анализ корреляционной зависимости прироста сосны от климатических условий показал, что на рост и развитие исследуемых деревьев наибольшее влияние оказали изменения температуры воздуха в июне предыдущего и текущего годов, коэффициент корреляции (R) составил 0,068 и 0,156 соответственно, а также в октябре предыдущего и текущего годов – 0,352 и 0,221 соответственно. Количество осадков оказывает меньшее влияние на прирост. Таким образом, фактором роста и развития сосны обыкновенной на восточной окраине Русской равнины в подзоне южной тайги в основном являются температура воздуха в осенние месяцы предыдущего и текущего года, а также температура июня текущего года.

Ключевые слова: дендрохронология, сосна обыкновенная, рост, климатические факторы, Нердвинский бор



## Экология и природопользование

Гатина Е.Л., Юова И.А.

Для цитирования: Гатина Е.Л., Юова И.А. (2024). Дендроклиматические исследования сосны обыкновенной в южной тайге на восточной окраине Русской равнины. Географический вестник. № 2(69). С. 136–149. doi: 10.17072/2079-7877-2024-2-136-149

## Введение

древней растительности является необходимым 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 изменяющихся климатических условий произрастания лесных сообществ за длительные интервалы времени в различных регионах и местах обитания. Для получения более точных результатов при дендроклиматических исследованиях стоит использовать международные подходы. Также следует учитывать соотношение видов бизнес-автотранспорта или иных регионов с местными факторами. Анализ климатических осадков, отраженных в широте годичных колец хвойных на севере и в центре части России, показал, что в целом

границы между деревьями, чувствительные к изменениям температуры и гидротермического режима прохладнее 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 зависимость от температуры воздуха в зимний и летний периоды, с осадками – весенний и осенний [32]. В более южных широтах наблюдаются положительные воздействия и отрицательные – температуры воздуха [19, 8]. Для сосны обыкновенной на европейском северо-востоке России в зональном аспекте древесные кольца характеризуются неоднородностью климатического отклика. Основными положительными факторами, определяющими рост сосны, выступают температуры мая на территории северной тайги и северного Предуралья, температура июля – в центральной части и юге средне-тайги. Условиях средних тайг и негитивное воздействие зимних и летних температур в условиях влияния летних ветров [13]. Наследующий день существует большой перечень научных публикаций, посвященных анализу мировых климатических факторов на радиальном приросте сосны обыкновенной, но для территории Пермского края этот вопрос остается неизученным. Цель данного исследования – изучение климатического отклика годового прироста сосны обыкновенной за продолжительный временной интервал в южной тайге на восточной окраине Русской границы.

## Материал и методы

Отбор образцов для составления древесно-кольцевой хронологии годичных колец сосны обыкновенной произведен вдали от зоны антропогенной формации, на территории ботанического памятника природы регионального значения «Нердвинский бор». ООПТ расположен в Карагайском муниципальном округе Пермского края и находится в подзоне южной тайги на восточной окраине Русской границы. Площадь Нердвинского бора 49,0 га. Рельеф эрозионно-денудационного типа, сформированный на остаточно-инверсионной возвышенности и расчлененными эрозионными логовами, которые устья отражаются на пойму р. Нердвы. Средняя высота составляет 178 м н.у.м. [2]. Климат территории умеренно-континентальный с продолжительностью холодной зимы и холодной, но коротким летом. Для параметра древесно-кольцевых хронологий с осредненными температурами и последними изменениями использовались данные метеорологической станции в г. Кудымкаре, которая является ближайшей к «Нердвинскому бору» [15]. В проведении были использованы осредненные и осредненные годовые температуры воздуха и количество атмосферных осадков на метеостанции в г. Кудымкара за период с 1948 по 2022 г., за исключением 1997 и 2000 гг., когда измерения не проводились [12]. Осредненные показатели температуры и количества капель показаны на рис. 1.

Экология и природопользование  
Гатина Е.Л., Юова И.А.

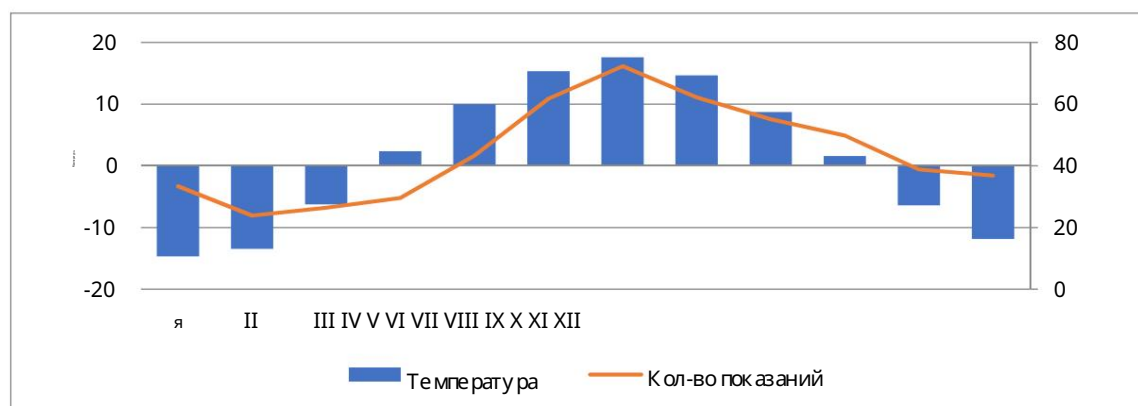


Рис. 1. График с ежемесячными показателями температуры и количества отклонений для метеостанции г. Кудымкара за период с 1948 по 2022 г. (составлено по [15])

Рис. 1 Среднемесячные значения температуры и осадков по метеостанции Кудымкара на период с 1948 по 2022 г. од (составлено по [15])

Почвенный покров представлен дерново-среднеподзолистыми почвами. В

пределах ботанического памятника природы расположены светлые и темные хвойные лесные сообщества. На западной окраине ООП произведен темновойный лес кисличник. В северной части охраняемой территории, в верхней части склона, произведено предоставление сосняк-травяной. Распространено сообщество нижней части склона, с участием осы. Нередко и пойменному лугов, представлено сосняком разнотравным. В логах указаны смешанные сосново-еловые лесозеленомошники [2]. Особая научная, эстетическая, природоохранный ценностность «Нердвинского бора» обуславливала необходимость охраны насаждений с осн. обыкновенной возрастом 120 лет и более [2].

Для проведения исследований в «Нердвинском бору» в странах ООПТ были заложены 3 пробные площадки (рис. 2).



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

Рис. 2 Образцы стоянок в Нердвинском бору

с сформированным доминированием плеврострума 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 временно вида с осн. лесовосточными видами 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 Эли Сибирской и преобладанием в травянисто-кустарничковом ярусе Линнея 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,

Экология и природопользование  
Гатина Е.Л., Юова И.А.



Рис. 3. Вид пробных площадок, фото: И.А. Юова Рис. 3 Вид пробных участков, фото И.А. Юовой

А) Площадка № 1  
с осново-еловой травяной лесной  
А) Пробная площадка № 1  
с основый и еловый лес с травяным покровом

с осново-еловый лес  
травяной Б) Пробный участок № 2  
с основый и пихтовый  
зеленомошный лес

В) Площадка № 3  
с осново-еловой травяной лесной  
В) Пробная площадка № 3  
с основый зеленомошный лес

С каждой пробной площадки в мае 2023 г. Похищено на 25 образцов кернов с осны обыкновенной. Всего было проанализировано 75 образцов. Характеристика и результаты исследований приведены в табл. Методы исследования. В работе был применен стандартный

дендрохронологический метод для построения древесно-кольцевой хронологии прироста с осны обыкновенной. Радиальные керны с осны диаметром 4–5 мм и длиной до 50 см выверливались буром Пресслера. Образцы древесины отбирались фундаментально длинной осью ствола на высоте от 1,3 м от поверхности земли [1, 21, 23].

Для отбора образцов использовали деревья, формирующие полог леса (первый ярус древостоя), по возможности, круглой формы, здоровые, без значительных повреждений. У каждого дерева с отборами с помощью портативного высотомера SUUNTO PM-5/1520 PC механического типа. Диаметр варьируется на высоте от 1,3 м в двух направлениях с применением профессиональной мерной вилки Haglof Mantax Black.

Выверленные керны помещались в бумажные конверты, на которых были указаны код керна, диаметр ствола, высота дерева и дата отбора пробы [21]. Конверты с боковыми деталями закрывались бумагой для того, чтобы не было поломки и утери деревьев от транспортировки [23]. Перед проведением исследования керны наклеивались на деревянную подложку, где по-

Верхность керна зачищалась канцелярским ножом для улучшения однолетних колец и дальнейшего анализа [23]. Поверхность дерева вокруг керна

санировалась на устройстве Epson Perfection V10 с разрешением 1200 dpi. Далее керны измерения проводились в программе Coorecorder, CDendro с расстоянием до 0,001 мм [33].

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



Экология и природопользование  
Гатина Е.Л., Юова И.А.

Образцы, прошедшие процесс перекрестной датировки, объединились для создания локальной хронологии. Процедура стандартизации, или индексирования, проводилась в программе ARSTAN. В результате из хронологии в каждой выборке удалась возрастная тенденция [27, 30]. Для графического отображения годовых колец использовалась программа

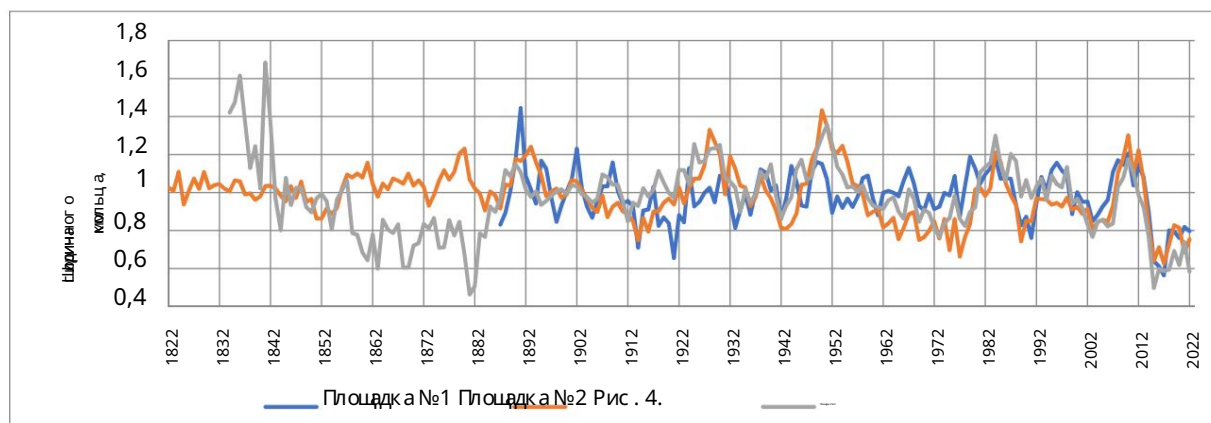
RStudio, пакет DpIR в среде R. Этот источник строит хронологию интерактивно, удаляет возрастную тенденцию и проводит помесячный корреляционный анализ полученной древесно-кольцевой хронологии [25, 26].

#### Результаты исследования

Установлено, что на всех площадках наблюдаются деревья разновозрастные. На площадке №1 средний возраст деревьев – 86 лет, урожай – 64 года, максимальный – 136 лет. Древесно-кольцевая хронология с первой пробной площадки соответствует временному интервалу с 1887 по 2022 г. Для площадки №2 в центральной части Нердвинского бора средний возраст деревьев – 185 лет, урожай – 145 лет, максимальный – 201 год. Древесно-кольцевая хронология соответствует временному интервалу с 1822 по 2022 г. С конца пробной площадки в восточной части бора получена древесно-кольцевая хронология, охватывающая период времени с 1834 по 2022 г. (189 лет). Средний возраст деревьев составил 135 лет, максимальный возраст дерева с террасой – 189 лет, творческий – 89 лет. В целом максимальный возраст – 201 год – отмечен у двух деревьев, произрастающих на объекте №2 в центральной части Нердвинского бора. Минимальный возраст составил 64 года у одного дерева с площадкой №1 (табл. 1). Все исследователи сообщают, что разновозрастными, продолжают происхождение древостоев. Сообщества в центральной части Бора соответствуют понятию разновозрастные леса. Для анализа прироста диапазона годовых колец блоков

объединяли в локальные хронологии по площадкам после того, как они были стандартизированы в программе ARSTAN для удаления возрастного тренда. В результате получены временные ряды радиального прироста, отражающие изменение отклонения

годовых колец по годам учтенных деревьев по пробным площадкам. Таким образом, наиболее короткая хронология получена с первой площадки (возраст 136 лет), территория находится ближе к опушке леса, здесь относительно произрастают молодые по возрасту деревья (рис. 4). Наиболее длинная хронология получена со второй площадки (возраст 201 года) в центральной части бора.



Динамика наклона годовых колец по хронологиям с каждой пробной площадкой на изучаемой территории.

Рис. 4. Динамика ширины годовых колец по хронологиям с каждого участка отбора проб

Таблица

№		Диаметр, с м	Высота, м	Возраст, лет	№	с м	м	Диаметр, лет	№		Диаметр, с м	Высота, м	Возраст, лет
1	раз	раз	23	70	3	раз	22	189	3	раз			134
			18	66			25	194				26	123
	3		18	77		3	27	190				20	189
			28	74.4			25	208				23	127
				120									
	7		24	136		7	28	201				25	134
	8		22	128		8	26	191				23	89
	9		18	132		9	28	177				25	130
	10		18	88		10	28	198				20	138
	13					13							
	14		23	106		14	26	178				23	139
	15		17	76		15	24	145				22	138
	16		20	79		16	26	179				26	132
	20		20	88		20	20	180				25	130
Среднее значение		20.8			-				-				
	21		19	64		21	23	192			20.8	20	133
	22		18	71		22	26	182			20.8	26	128
	25		23.6	88.3		25	25.2	185.6				22	138
												20.5	130.6
		20.8					20.8						
	-					-							

## Экология и природопользование

Гатина Е.Л., Юова И.А.

Сравнивая между собой хронологию каждой пробной площадки, происходит изменение прироста годовых колец, начиная с 1884 г. Но с 1834 по 1884 г. Сильное перемещение между хронологиями площадок № 2 и 3. Наблюдается резкое снижение прироста деревьев с площадкой № 3. Это обусловлено небольшим влиянием видимых

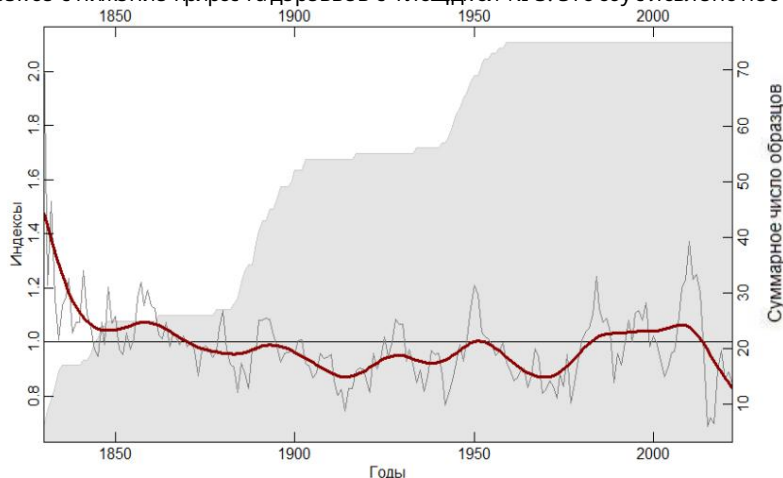


Рис. 5. Обобщенная древесно-кольцевая хронология по ширине годичных колец сосны обыкновенной на границе территории\* \* где кривая темно-серого цвета – обобщенная древесно-кольцевая хронология, кривая красная хронология – линия с пайн, количество образцов в промышленном году показано серым цветом на фоне кривых Рис. 5. Обобщенная древесно-кольцевая хронология по ширине годичных колец сосны\* \* где кривая темно-серая – обобщенная древесно-кольцевая хронология; красная кривая – с пайн; количество взятых образцов в конкретный год показано серым цветом на фоне кривых

деревьев (всего 2 дерева) за обозреваемым промежуток времени. Для получения дальнейших достоверных результатов хронологии двух деревьев с площадки № 3 были исключены, поскольку это влияло на достоверность хронологии. После объединения хронологий получена одна обобщенная древесно-кольцевая хронология по ширине годич-

ных колец сосны длительно-первые ряды в 201 году с 1822 по 2022 г. (рис. 5).

Анализируя обобщенную древесно-кольцевую хронологию можно выделить ряд выраженных годов минимумов прироста 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 приводится для

нахождения связей с средними значениями прироста годичных колец с изменениями климатических параметров. Как известно из литературы, возможными климатическими факторами, влияющими на рост деревьев, являются атмосферное количество осадков и температура воздуха за вегетационный период (начиная с апреля по октябрь) [16, 20, 21, 28, 31]. Однако для установления связи с началом не обязательно убедиться, какой именно климатический фактор в большей степени влияет на прирост годичных колец исследуемой породы. Зависимость прироста годичных колец сосны обыкновенной от среднейдовой температуры вегетационного периода и от среднедовой температуры в районе исследования, показанной на рис. 6 и 7.

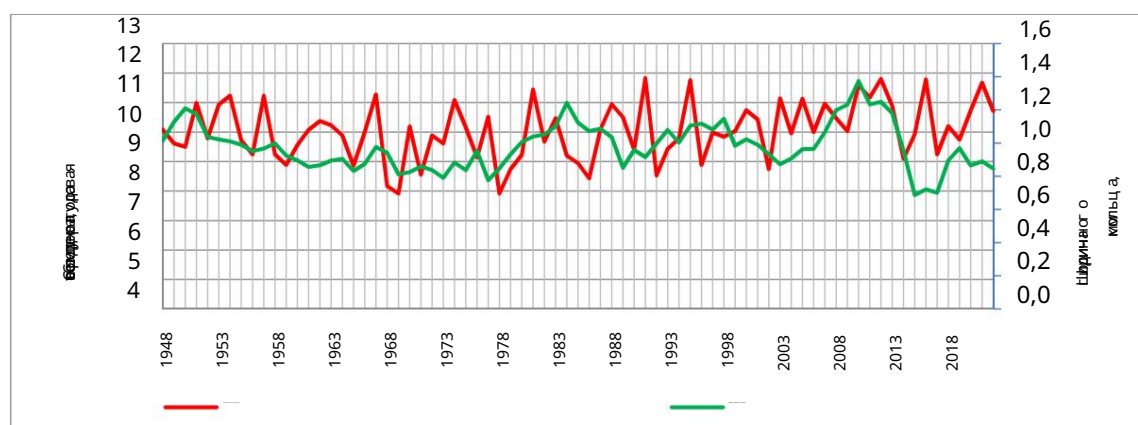


Рис. 6. Прирост годичных колец сосны обыкновенной (мм) и среднемесячная температура вегетационного периода в районе исследования (°C)

Рис. 6. Прирост годичных колец сосны обыкновенной (мм) и среднемесячная температура вегетационного периода (°C) на исследуемой территории

Экология и природопользование  
Гатина Е.Л., Юова И.А.

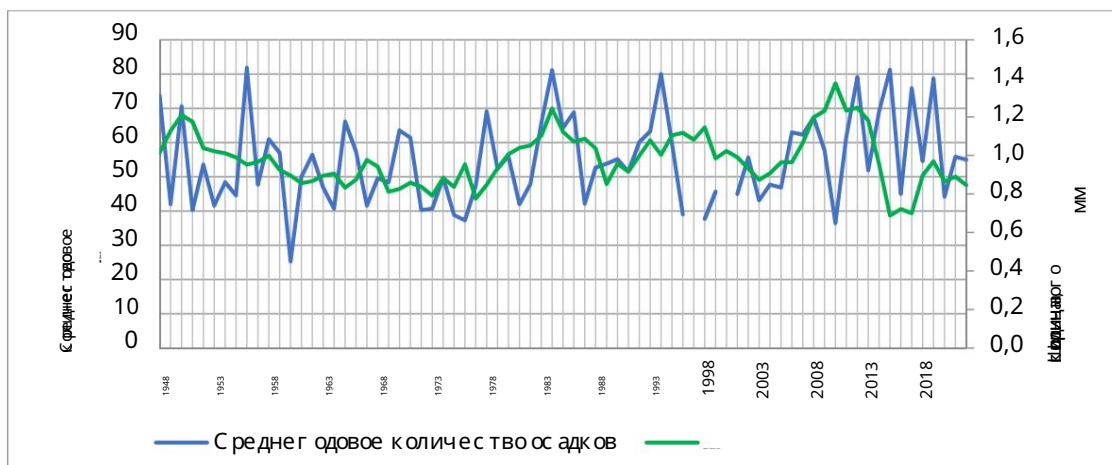


Рис. 7. Прирост г одичных колец сосны обыкновенной (мм) и среднее годовое количество осадков в районе исследования (мм/г од)

Рис. 7. Прирост г одичных колец сосны обыкновенной (мм) и среднее годовое количество осадков (мм/г од) на исследуемой территории

Из рис. 6 видно, что прослеживаются годы, в которых из-за относительно низких средне-годовых температур наблюдается изменение амплитуды годичного кольца, а в наиболее теплые периоды – увеличение. Так в 1965, 1969, 1973, 1989, 2015 и 2017 годах партия прослеживался наименьший прирост 0,83, 0,81, 0,79, 0,85, 0,69 и 0,70 мм относительно относительно низкой температуры. При повышении температуры воздуха наблюдается прирост сосны обыкновенной, которая приурочена к 1951, 2008, 2010 и 2012 годам с группой годичных условий колец 1,18, 1,20, 1,37 и 1,25 мм соответственно. Анализ графиков прироста годового кольца сосны и среднегодового количества факторов показал годы, в которых был максимальный прирост за счет

обильных факторов и текущий прирост из-за небольшого количества факторов. Так, в 1969, 1973, 2003 и 2020 гг. При этом наблюдается снижение диапазона годичных низких 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 годового кольца максимальна и равна 1,21, 1,00, 1,24, 1,20 и 1,25 мм соответственно.

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

На графике отчетливо видно, что прирост сосны в районе изменения положительно коррелирует с показателями температуры в июне текущего года, коэффициент корреляции ( $R$ ) здесь минимален, но положительный и составляет 0,156, а также с температурой октября и текущего года – 0,352 и 0,221. Следовательно, прирост сосны в Нердвинском бору зависит от измерений температуры в ответные месяцы. Кроме того, в данных месяцах обнаруживаются почти нулевые и минимальные значения климатического отклика на количество колебаний ( $R = 0,008$  и  $-0,061$  для июньских колебаний и текущих годовых значений; 0,125 и 0,010 для октябрьских и текущих ежегодных колебаний), что показатели о том, что обуславливает, в большей степени определяющие рост и развитие сосны на изучаемой территории, являясь показателем температуры. Скорее всего, это связано с обильной влажностью территории. Пониженные значения февральской температуры текущего года отрицательно влияют на рост и состояние деревьев, поэтому могут приводить к формированию экстремально узких колец.



Экология и природопользование  
Гатина Е.Л., Юова И.А.

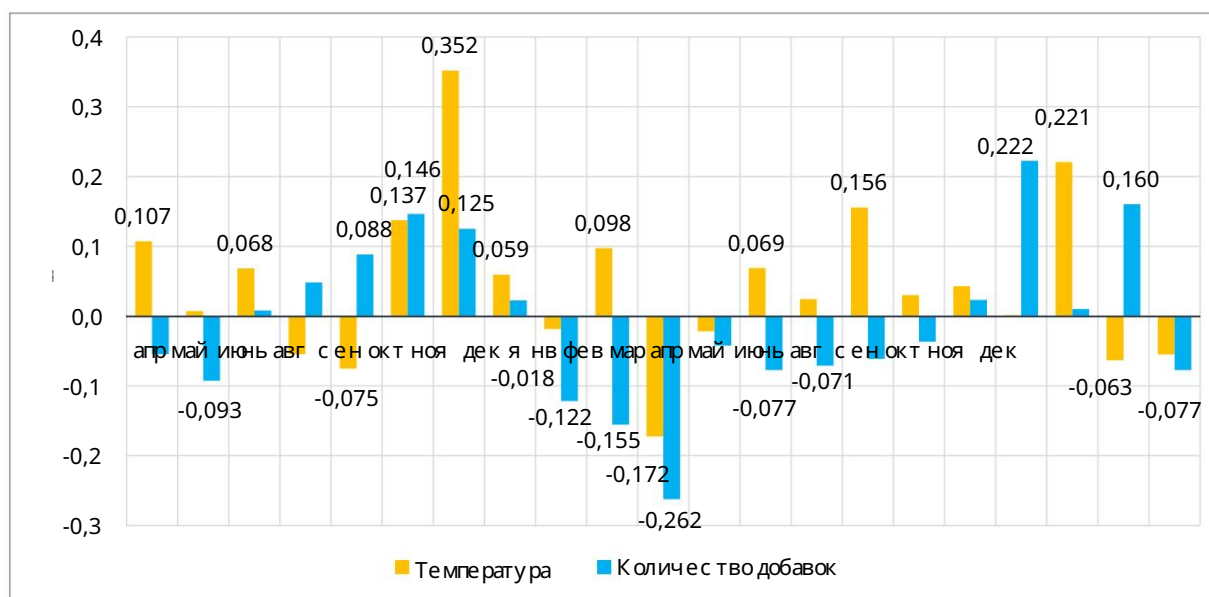


Рис. 8. График корреляции между индексами хронологии и значениями среднемесячных температур воздуха и месячной величины атмосферных колебаний за период с апреля изменения года по декабрь текущего года с 1948 по 2022 г. на исследуемой территории

Рис. 8. С соотношением показателей хронологии с значениями среднемесячных температур воздуха и месячных атмосферных осадков за период с апреля предыдущего года по декабрь текущего года с 1948 по 2022 г.

Корреляция количества атмосферных осадков за летний период текущего года и течения годов в большей степени показывает отрицательное значение корреляционных коэффициентов. Наибольшие отрицательные значения характерны для показателей 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 текущего года, а также июнь и июль предыдущего года, значение которых положительное, но незначительное ( $R=0,008-0,088$ ). Наибольший коэффициент корреляции зависит от прироста суммы атмосферных воздействий, возникающих в осенние месяцы. Стоит также обратить внимание, что осадка текущего года меньше влияет на прирост, в отличие от прошлого года.

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

Корреляция температуры и прироста сосны позволяет выделить периоды, которые с 1948 по 2022 г. не меняют знака с соответствия, в течение длительного времени одни и те же воздействия влияют на рост деревьев. К таким месяцам относятся сентябрь и октябрь прошлого года, а также октябрь текущего. Анализируя влияние количественного фактора на приростные

деревья, обратите внимание, что осадки января, февраля и марта текущего года не меняют знаковые зависимости и имеют выраженный отрицательный коэффициент, означающий наличие влияния факторов на приростных деревьев. Только осадки октября, октября и сентября текущего года имеют положительный коэффициент.

## Экология и природопользование

Гатина Е.Л., Юова И.А.

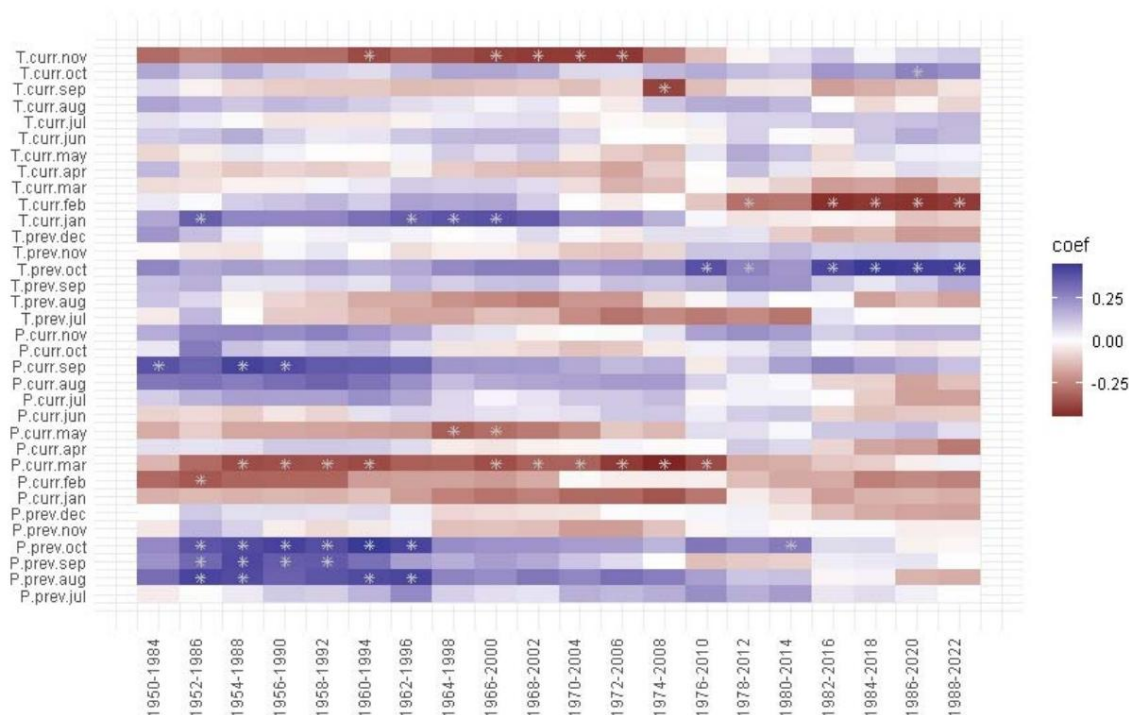


Рис. 9. График устойчивости климатической функции с работ в период с 1948 по 2022 г.

на границе территории \* Значимые корреляционные связи,

показывающие наиболее сильное влияние температуры воздуха или количества атмосферных осадков за определенный интервал времени, обозначенные \* Рис. 9. Диаграмма устойчивости функции отклика климата за

период с 1948 по 2022 г. од\*.

\* Значимые корреляции, показывающие наиболее сильное влияние температуры воздуха или осадков за определенный промежуток времени, отмечены \*.

Сопоставлены данные по корреляции между индексами хронологии и значениями среднемесячных температур воздуха, а также месячной величины атмосферных осадков за период с апреля по декабрь текущего года и данные устойчивости климатической функции, с работающей во времени за период с 1948 по 2022 г., можно утверждать, что на рост и развитие сосны обыкновенной в Нердвинском бору в большей степени влияют изменения температуры воздуха.

## Обсуждение

Проведенный корреляционный анализ прироста сосны обыкновенной от климатических параметров показал, что на рост и развитие деревьев в большей степени влияет температура воздуха. Это соотносится с ранее полученными данными. За счет того, что изучаемая территория находится в умеренно-континентальном климате, для которого характерны низкие температуры воздуха, на приросте деревьев благоприятно продолжается их повышение. В свою очередь, низкие температуры приводят к накоплению влаги. Соответственно, при повышении температуры снижается степень переувлажненности и происходит увеличение диапазона годичных колец. Кроме того, положительная связь прироста с летними температурами в холодных регионах увеличивает снижение фотосинтеза и продлевает сезон вегетации. Но стоит учитывать, что если температура поднимается выше некоторой допустимой нормы для вида, происходит угнетение прироста [4, 8, 24]. Подобный результат был показан в ряде работ. Так, для Ленинградской области установлено, что сильное положительное воздействие на величину радиального прироста оказывает среднюю температуру воздуха [17]. Заметный положительный отклик прироста сосны на повышение температуры наблюдался в среднем тайге в основном на западе республики Коми и в южном тайге [13].

Для более северных районов установлен положительный сигнал к повышению температуры воздуха в июле-августе и положительный сигнал к увеличению количества осадков с сентября текущего года для сосняков, произрастающих в мезотрофных условиях, в то время как сосны из заболоченных местобитаний не проявляют с их одних признаков отклика на климатические параметры [5]. На территории Мещерской низменности в Рязанской области О.С. Железновой и С.А. Обратным установлено, что в переувлажненных местах обитания наблюдается положительный отклик прироста сосны на рост температуры и отрицательный – на увеличение осадков осенью конца года [7].

Климатический отклик сосны обыкновенной, изучаемой в данной работе, слышен с откликом сосны обыкновенной на территории г. Москвы и Мордовии [8], а также Ленинградской области [17]. На традиционных территориях прирост годовых колец в большей степени зависит от изменений температуры воздуха, что является лимитирующим фактором для роста и развития сосны обыкновенной. Если продвигаться южнее, то определяющее положительное значение начинает играть количество выбросов

летнего периода и часто становится отрицательным климатическим откликом на температуру в июле и августе. Так, Д.В. Тишин, Н.А. Чижикина и В.В. Мацковский при вынесении отклика прироста годовых колец сосны обыкновенной с территории Жигулевского озаповедника природного биосферного озаповедника им. И.И. Спрыгина (Самарская область) по климатическим показателям (количество капель и температура воздуха) установила, что на прирост годовых колец оказывает положительное влияние количество атмосферных осадков, в большей степени февраля и августа. Изменение температуры практически не влияет на рост сосны обычной (выявлен отрицательный корреляционный коэффициент температуры с мая по сентябрь). Территория возникновения атмосферных засух, которые являются лимитирующими факторами роста и развития деревьев [22].

Исследования сосны обыкновенной в Юго-Восточном Забайкалье и в Центральном Казахстане, расположенном вблизи 54 южнее северной широты, показывают положительный климатический отклик на изменение количества выпадающих ветров, поскольку территории характеризуются холодным климатом, где часто наблюдаются засухи. При высоких температурах происходит сильное выделение влаги и, как полагают, возникает недостаток влаги, что негативно влияет на прирост деревьев [7, 22].

По данным М.В. Ермохина, в Беларуси показано явное выражение ограничения лимитирования атмосферных влияний с продвижением с юга на север с последующим перемещением равновесных температур воздуха в приросте сосны обыкновенной. Так, для Южной Беларуси на примере суходольных насаждений Беловежской пушчи выявлена положительная связь прироста сосны с июньскими и июльскими осадками, отрицательная – с майскими и июньскими температурами. В северной части, наоборот, главная роль заключается в весенних и зимних температурах. В результате изменений произошли изменения и прогнозы потепления климата есть возможность ожидать в последующие годы снижение прироста в соснах в южных регионах, а в центральных и северных, наоборот, его увеличение [6]. Заключение деревьев с наибольшим возрастом (201 год) встречается в центральной части Нердвинского борса с наименьшим (64 год) – на опушке леса. Все

исследовательские

собщества являются разновозрастными, продолжающимися по происхождению древостоев. Собщества в центральной части борса отвечают понятию старовозрастные леса, что важно учитывать длительной истории озяйствования территории Пермского Предуралья.

Полученная древесно-кольцевая хронология сосны обыкновенной, произрастающей в южном тайге на восточной окраине Русской границы, соответствует временному интервалу с 1822 по 2022 г. продолжительность ряда в 201 год. Максимальный прирост наблюдался в 1950, 1984, 2010 гг., творческий прирост – в 1914, 1942, 1977 гг., а также в период с 2015 по 2017 г.

## Экология и природопользование

Гатина Е.Л., Юова И.А.

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, являются температурные изменения текущего годового положения и текущего годового положения, поскольку температура выше среднего июня благоприятствует росту деревьев, резкое снижение температуры в октябре, наоборот, приостанавливает рост годовичных колец. Осадки, по сравнению с температурой, позволяя значительно уменьшить воздействие на радиальный прирост сосны.

При измерении данных с других исследований синхронно регистрируется, что отклик сосны на изменение температуры воздуха и количества воздействий зависит от условий места произрастания. Чем севернее находится территория мест произрастания (севернее 54–55 градусов северной широты), тем в большей степени ограничивающим фактором будет являться изменение температуры воздуха. Чем южнее территория (южнее 54–55 градусов северной широты), тем на приросте большее воздействие будут вызывать выпадающие осадки. Полученные данные по климатическому ответу сосны обыкновенной реакции откликом сосны обыкновенной на территории г. Москвы и Мордовии, где определяющим фактором также выступает температура. Опубликованные результаты дендроклиматического анализа впервые были опубликованы для Пермского Прикамья. В будущем такие данные

могут быть полезны для продолжения дендрохронологических и дендроклиматических работ в регионах, 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 особоохраняемых 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 Казахстана 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 XIX века по кернам сосны обыкновенной // Вестник Московского государственного университета. Сер. 5. География. 2018. № 2. С. 28–33. 5. Долгова Е.А., Соломина О.Н., Мацковский В.В., Добрянский А.С., Семякин Н.А., Шунт 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 // Вестник Национальной Академии Наук Беларуси. Серия Биологических Наук. 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. Исследование климата на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных местах обитания Мещерской низменности // Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая. 2019. № 5. С. 67–77. URL: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019567-77>.
8. Засухи и Восточно-Европейской конвенции по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным / И.С. Бушуева, Е.А. Долгова, А.Н. Золотокрылин [и др.]. Санкт-Петербург: Обществ. ограниченной ответственности «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. Груднин // Лесоведение. 1985. № 3. С. 20–25.
11. Климат в селе Нердвепомесячно. URL: <https://goodmeteo.ru/pogoda-nerdva-karagaysky-permsky/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>.

## Экология и природопользование

Гатина Е.Л., Юова И.А.

14. Мацковский В.В. Климатический сигнал в широте годового колец хвойных деревьев на севере и в центре краешает территорию России. М.: ГЕОС, 2013. 148 с.
15. Метеорологическая станция в г. Кудымкар. Пермский центр гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. URL: <https://meteo.perm.ru/meteoostantsii-permskogo-kraya/29-meteorological-stantsiya-vg-kudymkar> (дата обращения : 20.04.2023).
16. Методы анализа дендроклиматических данных и их применение на территории Сибири: учеб. пособие В.В. Шишов, И.И. Тычков, М.И. Попова. ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Красноярск, 2015. 210 с.
17. Никифорчин И.В., Ветров Л.С., Гурьянов М.О., Садовникова А.А. Исследование климатических факторов на радиальном приросте 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](http://www.pogodaiklimat.ru/history/28116_2.htm) (дата обращения : 20.04.2023).
19. Роговский А.И., Черкашин В.П. Оценка экологических условий на приросте сосны по диаметру в Инском бору (Минусинская котловина) // Временные и пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев. Каунас, 1987. Ч. 3. С. 13–21.
20. Семенов Н.С., Соломина О.Н., Долгова Е.А., Мацковский В.В. Климатический сигнал в различных условиях годовых колец сосны обыкновенной на Соловецком архипелаге // Географические 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 Л. Жигулевского о мотритель 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 ядр 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 старшем течении реки Лена // Актуальные научные исследования : сб. статьи XI международных науч.-практ. конф. Пенза, 2023. С. 365–369.
25. Банн А.Г. Библиотека программ дендрохронологии на языке R (dplR) // Дендрохронология. 2008. Том 26, вып. 2. П. 115–124. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002> (дата обращения : 09.06.2022).
26. Банн А.Г. Статистическое и визуальное перекрестное датирование в R с использованием библиотеки dplR // Дендрохронология. 2010. Т. 28, № 2. Ис. 4. С. 251–258. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.12.001> (дата обращения : 09.06.2022).
27. Др Кукэнд Э.Р., Крушич П.Дж. Программа стандартизации годовых колец на основе детрендинга и авторегрессионного моделирования временных рядов с интерактивной графикой. 2005. URL: <https://studylib.net/doc/9022257/program-arstan> (дата обращения : 04.06.2022).
28. Гаули А., Неупае П.Р., Мундхенк П., Кель М. Влияние изменения климата на рост видов деревьев: Дендроклиматологический анализ. Леса. 2022. «№ 13. 496 с. URL: <https://doi.org/10.3390/f13040496>
29. Грисс-и-Майер HD Оценка точности перекрестного датирования : руководство и учебник для компьютерной программы COFESHA: отчет об исследовании // Tree-ring research. США. 2001. Т. 57(2). С. 205–221.
30. Холмс Р.Л., Адамс Р.К., Фриттс Х.К. Древесные хронологии западной части Северной Америки, Калифорнии, восточного Орегона и северной части Большого Басейна с процедурами, используемыми в работе по разработке хронологии, включая руководства пользователя для компьютерных программ COFESHA и ARSTAN. Университет Аризоны. Тусон. Аризона. 1986. 185 стр.
31. Меко Д.М., Тучан Р., Анчукайтис К. Дж. Seascope: Программа MATLAB для определения сезонного климата с использованием годовых колец деревьев. Компьютеры и науки о Земле. 2011. С. 1234–241.
32. Прийт К. Климато-радиальные связи прироста хвойных насаждений в Эстонии / К. Прийт // Изв. АН Эстонии. 1992. Т. 2, № 1. С. 22–27.
33. Использование Coorecorder для измерения ширины годовых колец деревьев, данных с помощью канала или построенных кривых. 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 публикации : 13.05.2024

Статья была представлена : 15 ноября 2023 г. ; одобрена после рецензирования : 10 апреля 2024 г. ; принята к публикации : 13 мая 2024 г.



Экология и природопользование  
Гатина Е.Л., Юова И.А.

## Информация об авторах

Евгения Леонидовна Гатина

кандидат биологических наук, доцент кафедры  
биогеоценологии и охраны природы, географический  
факультет, Пермский государственный национальный  
исследовательский университет; 614068,  
Пермь, ул. Букирева, 15;

Ирина Анатольевна Юова магистр

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

## Сведения об авторах Гатина

Евгения Леонидовна

кандидат биологических наук, доцент кафедры биогеоценологии  
и охраны природы географического факультета Пермского  
государственного университета;

ул. Букирева, 15, Пермь, 614068, Россия

e-mail: suslovael@mail.ru Ирина

Александровна Юова

Студентка географического факультета Пермского государственного университета

614068, г. Пермь, ул. Букирева,

15 e-mail: irishka.yugova@gmail.com

## Вклад авторов

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

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтных интересов.

## Вклад авторов

Евгения Леонидовна Гатина – идея, постановка целей исследования, анализ данных, анализ и интерпретация результатов, научная  
редактирование текста.

Ирина А. Юова – проведение полевых работ, сбор и обобщение данных, написание текста статьи, написание  
текста статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.