

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGICAL SCIENCES

Научная статья

УДК 581.5

DOI: 10.32516/2303-9922.2023.47.1

### Особенности роста осины в условиях ООПТ «Моренный холм Шатрищи» по данным дендрохронологического анализа

Наталья Сергеевна Воробьева<sup>1</sup>, Денис Евгеньевич Румянцев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Мытищи, Россия

<sup>1</sup> vorobyeva@bmsu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9911-0045>

<sup>2</sup> dendro@mgul.ac.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9871-9504>

**Аннотация.** В статье представлены результаты дендрохронологических исследований роста осины. Древоостой сформировался на грунтах своеобразного геологического строения, в достаточно засушливых для осины условиях, поэтому исследование особенностей связей между колебаниями радиального прироста и колебаниями метеорологических параметров, а также между колебаниями радиального прироста и солнечной активностью в данном биотопе представляет особый интерес. Полученные результаты сопоставляются с данными аналогичного рода исследований в древоостоях осины на территории Русской равнины. Установлено отрицательное влияние на прирост высоких температур июня и июля прошлого года. Это дает основание прогнозировать ухудшение состояния осиновых лесов по мере глобального потепления климата. Выявлена сравнительно тесная связь между колебаниями индекса прироста и изменением значений числа Вольфа: коэффициент корреляции равен  $-0,34$ . Методом спектрального анализа Фурье установлено, что индексированная хронология содержит ярко выраженную циклическую составляющую с периодом 9,5 лет.

**Ключевые слова:** осина, дендрохронология, моренный холм Шатрищи, ООПТ Калужской области.

**Для цитирования:** Воробьева Н. С., Румянцев Д. Е. Особенности роста осины в условиях ООПТ «Моренный холм Шатрищи» по данным дендрохронологического анализа // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2023. № 3 (47). С. 6—19. URL: [http://vestospu.ru/archive/2023/articles/1\\_47\\_2023.pdf](http://vestospu.ru/archive/2023/articles/1_47_2023.pdf). DOI: 10.32516/2303-9922.2023.47.1.

Original article

### Aspen growth characteristics in specially protected natural area “Shatrishchi moraine hill” based on dendrochronological analysis

Natalia S. Vorobyeva<sup>1</sup>, Denis E. Rumyantsev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russia

<sup>1</sup> vorobyeva@bmsu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9911-0045>

<sup>2</sup> dendro@mgul.ac.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9871-9504>

**Abstract.** The article presents the results of dendrochronological studies of aspen growth. The tree stand was formed on soils of a peculiar geological structure, in conditions that are rather arid for aspen, therefore, the study of the relations between fluctuations in radial growth and fluctuations in meteorological parameters; as well as the relations between fluctuations in radial growth and solar activity in this biotope is of particular interest. The results obtained are compared with data from similar studies in aspen stands on the territory of the Russian Plain. A negative impact on the increase in high temperatures in June and July last year was established. This gives reason to predict the deterioration of aspen forests as the global climate warms. A relatively close relations was found

© Воробьева Н. С., Румянцев Д. Е., 2023

between fluctuations in the growth index and changes in the values of the Wolf number: the correlation coefficient is  $-0.34$ . Using Fourier spectral analysis, it was found that the indexed chronology contains a pronounced cyclical component with a period of 9.5 years.

**Keywords:** aspen, dendrochronology, Shatrishchi moraine hill, specially protected natural areas of Kaluga region.

**For citation:** Vorobyeva N. S., Rummyantsev D. E. Aspen growth characteristics in specially protected natural area “Shatrishchi moraine hill” based on dendrochronological analysis. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 2023, no. 3 (47), pp. 6—19. DOI: <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2023.47.1>.

## Введение

Рассеяннососудистые древесные породы (в том числе осина) недостаточно изучены в дендрохронологическом отношении по причине относительно плохой различимости их годовичных колец на образцах древесины [11]. Исследуя ширину годовичного кольца и производные от нее показатели, редко учитывают, что с экофизиологической точки зрения в анализ включаются разные индикаторы в тех случаях, когда идет речь о растениях с разным типом формирования вторичной ксилемы (рассеяннососудистых, кольцесосудистых и хвойных). Годовичные кольца растений этих групп сформированы разными анатомическими элементами в разной пропорции, для их формирования и функционирования необходимы разные затраты продуктов ассимиляции, а их линейные размеры априори имеют разный биологический смысл. Специфика формирования радиального прироста у рассеяннососудистых древесных пород остается наименее исследованным вопросом.

В России почти единственной работой, в которой затрагивались вопросы изменчивости радиального прироста осины, было исследование, выполненное коллективом авторов в условиях средней подзоны тайги Средней Сибири [16]. Была выявлена ведущая роль температурных условий июня для всех исследуемых видов (ели, пихты, сосны, березы и осины). У осины и березы зависимость радиального прироста от величины осадков июня объясняется истощением влагозапасов в период наиболее активного роста.

Определенное число дендрохронологических исследований было выполнено на материале осины американской (*Populus tremuloides* Michx.). Так, дендрохронологические исследования американской осины в Западной Канаде показали корреляцию между прошлыми событиями дефолиации кроны насекомыми и образованием узких, аномально бледных («белых») колец деревьев [24]. Целью исследований авторов являлась проверка гипотезы о том, что дефолиация вызывает образование белых колец, а также исследование того, как дефолиация влияет на ширину и плотность колец. Была проведена экспериментальная дефолиация осин возрастом от 7 до 18 лет в июне, июле или августе 1997 г., впоследствии обнаружили, что белые кольца образовались в том же году у всех осин, которые были сильно дефолированы в начале июня. Эти белые кольца были намного уже, чем на соседних деревьях, оставленных в качестве контроля, и средняя плотность белых колец ксилемы ( $0,27 \text{ г/см}^3$ ) была значительно снижена по сравнению с нормальными кольцами ( $0,35—0,40 \text{ г/см}^3$ ). В течение года после дефолиации кольца деревьев оставались узкими, но их внешний вид и плотность вернулись к норме. Осина, дефолированная позже в этом сезоне, образовала относительно нормальные кольца в 1997 г., но ширина колец уменьшилась в 1998 г. Результаты исследования подтверждают, что белые кольца на осине могут быть полезным ретроспективным индикатором тяжелой ранней сезонной дефолиации, которая типична во время крупных вспышек лесного кольчатого шелкопряда (*Malacosoma disstria* Hbn.) и других насекомых.

Дендрохронологическое исследование нескольких видов, в том числе и американской осины, использовано как инструмент прогноза будущей динамики в условиях меняющегося климата [25]. Авторы применили гибридный подход к биометрическому моделиро-

ванию на основе информации древесных колец для целей оценки годовой продуктивности экосистем на участках леса с древостоями сосны Банкса (*Pinus banksiana*) и тополей (*Populus tremuloides* и *Populus balsamifera*), расположенных совместно с установками вихревой ковариации в бореальном лесу Саскачевана, Канада, за 28-летний период (с 1985 по 2012 г.). Соответствие между оценками, полученными с помощью колец деревьев и ковариации вихрей, было гораздо лучше для сосны Банкса (14-летнее перекрытие, с 1999 по 2012 г.), чем для осины (16-летнее перекрытие, с 1997 по 2012 г.), и лучше для некоторых потоков  $C$ , чем для других. В частности, оценки годового и совокупного чистого производства экосистемы по кольцам деревьев были больше, чем оценки, полученные с помощью вихревой ковариации за перекрывающийся период. Аллометрические уравнения, почвенное производство и оборот биомассы не могут быть ни подтверждены, ни исключены в качестве причин расхождений, но более низкая плотность древостоя и более высокая эффективность использования углерода в совокупности уменьшают наблюдаемые различия для осины. Оценки прироста биомассы или чистого первичного производства на основе древесных колец показали хорошие временные соответствия как с аналогами вихревой ковариации текущего, так и предыдущего года, а также с чистой и валовой первичной продукцией. Аналогичные сравнения для чистой продукции экосистем и гетеротрофного дыхания дали неоднозначные результаты. Выполненное авторами исследование демонстрирует ценность дендрохронологической информации для количественных оценок потоков углерода в лесных экосистемах.

Влияние наводнений на радиальный рост *Populus tremula* L. и *Quercus robur* L. за период в несколько десятилетий изучалось на лесистом острове на реке Сона (Франция) [21]. В исследовании рассматривались два древостоя, включающие обе породы деревьев, расположенные выше и ниже высоты 169 м над уровнем моря, что соответствует высоте, достигаемой крупными речными паводками. Только деревья осины, расположенные ближе всего к воде, показали значительное сокращение роста (узкие кольца) в ответ на недавние наводнения. Реакция дуба на длительное наводнение отразилась на размерах и распределении сосудов в годовых кольцах. Кольца, образовавшиеся в годы, когда деревья были затоплены, имеют большую пористую зону, включая однородные мелкие сосуды, образующие широкую зону ранней древесины. С 1980 г. паводки на реке Сона сменились с позднелетних — ранневесенних на поздневесенние (март-апрель и даже начало июня). Поздние наводнения большой величины и продолжительности, такие как в 1983, 1986 и 1989 гг., имели прецеденты только в XIX веке (1856 г.). Авторы полагают, что такие крупные наводнения были вызваны незначительными изменениями в региональной циркуляции атмосферы, которые способствуют более высокой частоте дождей под влиянием Атлантики. Таким образом, характерными признаками затопленных деревьев являются узкие кольца осины и аномальная структура пористой ранней древесины у дуба.

Быстрорастущие гибриды *Populus* L. приобретают все большее значение как источник возобновляемой энергии и как промышленная древесина. Тем не менее долгосрочная чувствительность гибридов *Populus* к погодным условиям и, следовательно, к возможным климатическим угрозам в Северной Европе изучена недостаточно, вероятно из-за ограниченного возраста деревьев, что обусловлено короткими оборотами рубки. В исследовании коллектива латвийских авторов изучалась климатическая чувствительность 65-летних гибридных тополей (*Populus balsamifera* L. × *P. laurifolia* Ledeb.), произрастающих на двух участках в западной части Латвии, и 55-летних гибридных осин (*Populus tremuloides* Michx. × *P. tremula* L.), произрастающих в восточной части Латвии [27]. Гибриды были изучены с использованием классических дендрохронологических методов. Высокочастотное изменение ширины древесного кольца у гибридного тополя на обоих участках было сходным, но оно значительным образом отличалось от гибридной

осины из-за разнообразия родительских видов и географического расположения древостоев. Тем не менее у обоих гибридов наблюдались некоторые общие тенденции в изменчивости ширины годичного кольца. Климатические факторы, влияющие на ширину годичного кольца, были в целом одинаковыми для обоих гибридов, но их состав различался. Сила взаимосвязи климата и ширины годичного кольца была аналогичной, но на гибридный тополь влияло в целом большее количество климатических факторов. Гибридный тополь был чувствителен к факторам, связанным с дефицитом воды в конце лета в предыдущий и текущий годы. Гибрид осины был чувствителен к метеоусловиям именно в год формирования древесного кольца. Оба гибрида также проявляли реакцию на температуру в период покоя. Наблюдаемые взаимосвязи между климатом и ростом позволили авторам исследования предположить, что повышение температуры может негативно сказаться на радиальном росте изученных гибридов *Populus*.

Данные обзора литературы демонстрируют перспективность использования дендрохронологической информации для познания экофизиологических закономерностей роста осиновых лесов в определенных экологических условиях и конкретных биотопах. Ранее нами был выполнен ряд исследований по вопросам изменчивости радиального прироста осины и факторов, ее определяющих [1; 12—14; 28]. Представленные в данной статье результаты существенным образом дополняют ранее полученные данные.

Целью исследования было получение временных рядов радиального прироста для древостоя осины (*Populus tremula* L.), произрастающего в пределах уникального биотопа (моренный холм Шатрищи), и анализ связи колебаний прироста осины с колебаниями метеопараметров, солнечной активности, анализ цикличности колебаний прироста в данных конкретных экологических условиях. Подобного рода информация важна с точки зрения лесоведения и лесоводства как базовая для понимания экофизиологических механизмов формирования прироста древесины осины, в частности выполнения осиновыми лесами углероддепонирующей функции. Также такого рода информация дает базу для прогноза реакции осиновых лесов на глобальное потепление климата.

#### Объект исследований

Особо охраняемая территория регионального значения «Холм Шатрищи» расположена в Износковском районе Калужской области. Это камовое образование времен таяния поздней стадии развития Московского ледника [8; 19; 20]. Часть склонов холма покрыто лесом с преобладанием осины в составе древостоя (рис. 1).

Характеристика учетных деревьев осины, с которых производился отбор образцов древесины для исследований, приведена в таблице 1. Географические координаты первого учетного дерева: 54.97912° с.ш. и 35.27144° в.д.

Таблица 1

Таксационная характеристика учетных деревьев

Номер дерева	Длина окружности, см	Высота, м	Диаметр, см	Класс роста	Категория состояния	Наличие плодовых тел трутовика
1	114	22	36	I	1	нет
2	117	22	37	I	1	есть
3	103	21	33	II	2	есть
4	104	20	33	II	2	есть
5	102	21	32	I	1	есть
6	114	22	36	I	1	есть
7	95	22	30	I	1	есть
8	84	21	27	II	1	есть
9	102	21	33	I	1	есть
10	102	20	32	III	2	есть
11	99	22	32	I	1	есть

Номер дерева	Длина окружности, см	Высота, м	Диаметр, см	Класс роста	Категория состояния	Наличие плодовых тел трутовика
12	103	22	33	I	1	есть
13	112	23	36	I	1	есть
14	103	21	33	II	2	есть
15	103	20	33	III	2	есть
<b>Среднее</b>	<b>104</b>	<b>21</b>	<b>33</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>	<b>z</b>



Рис. 1. Общий вид древостоя осины на склоне холма

Таким образом, учетные деревья имеют средний диаметр 33 см и среднюю высоту 21 м. Практически все из них поражены трутовиками. Их возраст на момент отбора кернов в августе 2018 г. составлял около 75 лет.

Отбор кернов древесины целенаправленно проводился среди деревьев I—III класса роста по Крафту, в среднем для учетных деревьев данный показатель составляет 1,5 балла. Средний балл категории лесопатологического состояния учетных деревьев равен 1,3.

#### **Методика исследований**

Отбор кернов велся в сентябре 2018 г. буровом Пресслера на высоте 1,3 м. Керны были отобраны с 15 учетных деревьев. Отбор образцов древесины, измерение ширины годичных колец и построение древесно-кольцевых хронологий проводились по стандартной методике [9; 15].

Ширина годичных колец измерялась прибором Lintab 6, для проверки правильности измерений методом перекрестной датировки было использовано специализированное программное обеспечение Tsap-Win производства компании Rinntech.

Перед измерениями керны древесины предварительно смачивались водой, зачищались лезвием бритвы и натирались порошком мела. В итоге были получены индивидуальные хронологии по ширине годичного кольца. На их основе производился расчет индексированных хронологий. Индекс прироста рассчитывался как отношение ширины годичного кольца в данном году к средней ширине годичного кольца за последние пять лет.

Для выявления связи между колебаниями радиального прироста и колебаниями метеопараметров, колебаниями значений числа Вольфа использовался корреляционный анализ. Он сводился к измерению тесноты или степени сопряженности между варьирующими признаками, а также к определению формы и направления существующей между ними связи. Корреляционный анализ выполнялся в программе Microsoft Excel [5].

Для выявления циклических составляющих изменчивости прироста применяли спектральный анализ Фурье в программе STATISTICA 13.0 [18].

Наиболее длинная из индивидуальных древесно-кольцевых хронологий имела длину 75 лет.

#### Результаты исследований

На основе измерений, выполненных на кернах, были получены индивидуальные хронологии по ширине годичного кольца (рис. 2). Далее они были преобразованы в индексированные хронологии, не содержащие выраженного возрастного тренда (рис. 3).

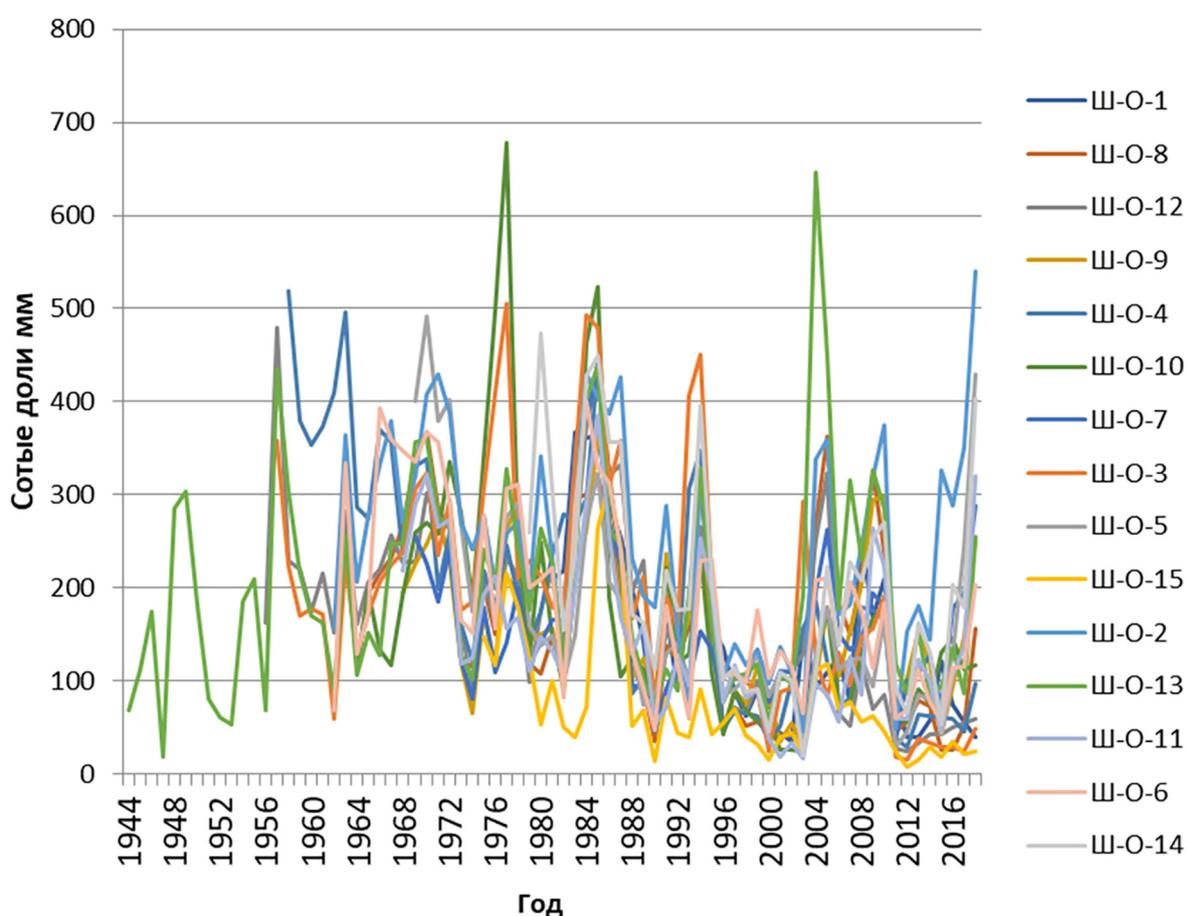


Рис. 2. Динамика ширины годичного кольца в индивидуальных хронологиях осины на объекте «Холм Шатрищи». Ш-О-1 — Ш-О-15 — номера учетных деревьев по таблице 1

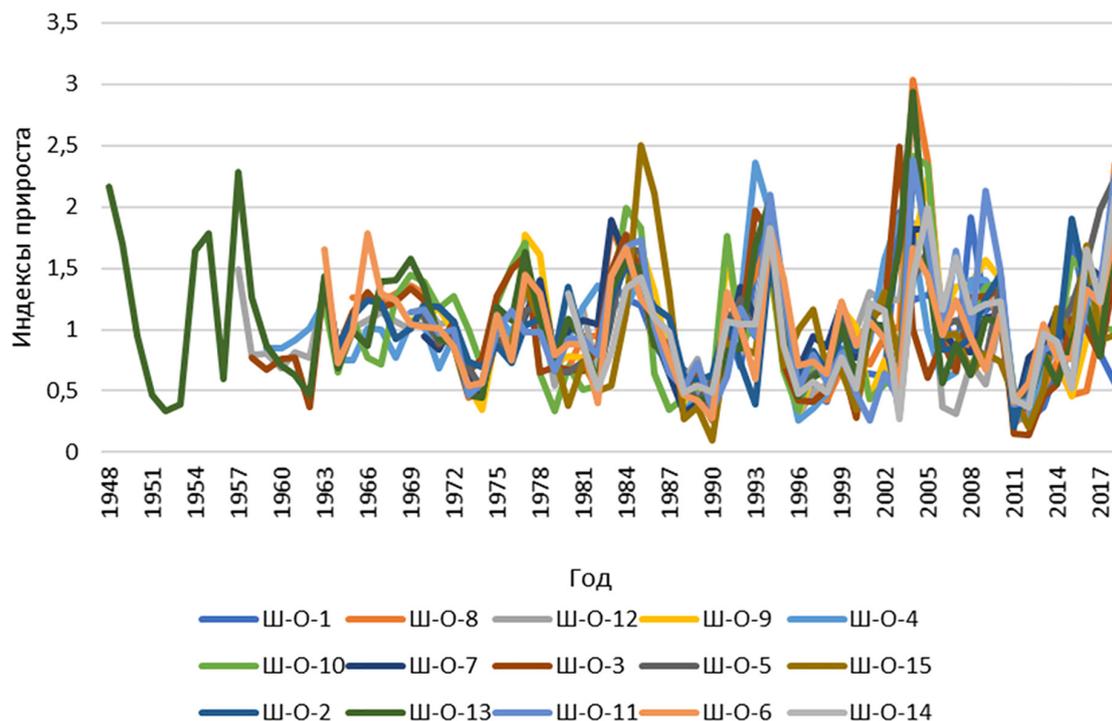


Рис. 3. Динамика индексов радиального прироста в индивидуальных хронологиях осины на объекте «Холм Шатрищи». Ш-О-1 — Ш-О-15 — номера учетных деревьев по таблице 1

Графики на рисунках 2 и 3 четко демонстрируют наличие возрастного тренда во временных рядах радиального прироста (рис. 2) и его отсутствие в индексированных хронологиях, а также синхронность в колебаниях прироста у отдельных деревьев: совпадение периодов увеличения и уменьшения прироста.

На основе индивидуальных индексированных хронологий была рассчитана средняя хронология, затем использованная для корреляционного анализа (рис. 4).

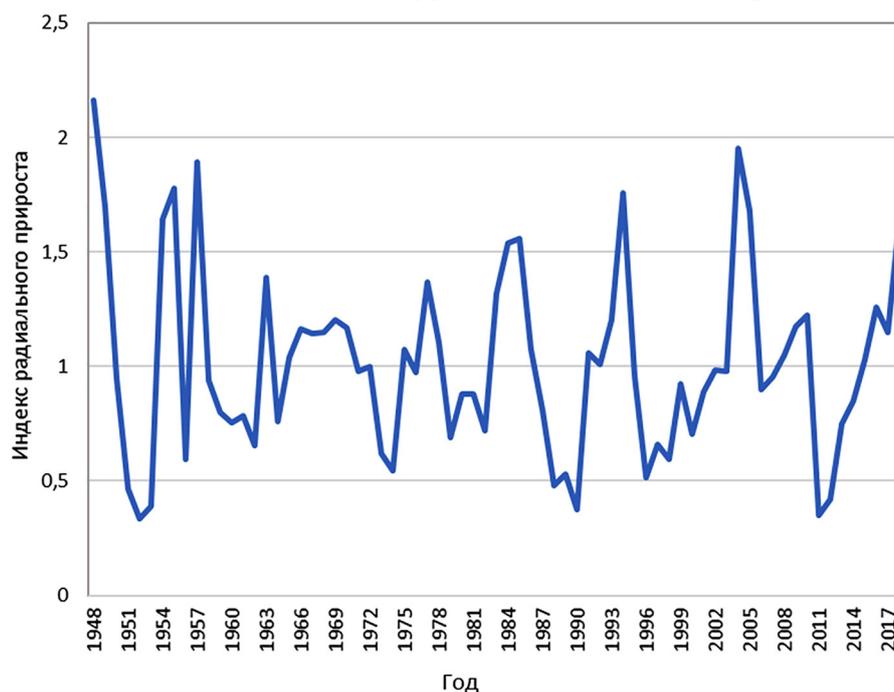


Рис. 4. Динамика индексов радиального прироста в средней хронологии для древостоя осины на объекте «Холм Шатрищи»

Для дендроклиматического анализа были использованы данные ближайшей к поселку Износки метеостанции г. Малоярославец [4]. Расположение метеорологической станции в Малоярославце (Калужская область, Россия): широта 55.02, долгота 36.48, высота над уровнем моря 197 м. Метеостанция дает непрерывный ряд средних месячных температур воздуха с 1927 по 2023 г. Временные ряды по месячной сумме осадков содержат разрывы в наблюдениях 1996—2000 гг., 1976, 1978, 1966, 1959 гг. Также в анализе использовались данные о динамике чисел Вольфа [17].

Для определения достоверности коэффициентов корреляции при доверительном уровне 0,05 и разном числе степеней свободы использовали таблицу из книги Г. Ф. Лакина [2]. Достоверные значения коэффициентов корреляции выделены в таблицах 2 и 3 полужирным шрифтом. Расчеты проводились как для метеопараметров текущего года (календарный год формирования годичного кольца), так и для метеопараметров прошлого года (предшествовавшего календарному году формирования годичного кольца), что соответствует общепринятой методике [23].

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции между индексами радиального прироста и средними месячными температурами за период 1948—2018 гг.

Месяц	Температура текущего года	Температура прошлого года
Январь	0,04	0,10
Февраль	-0,10	-0,25
Март	-0,09	0,11
Апрель	-0,06	-0,09
Май	0,20	0,04
Июнь	-0,25	<b>-0,30</b>
Июль	-0,09	<b>-0,27</b>
Август	0,19	-0,12
Сентябрь	0,29	0,00
Октябрь	0,08	0,04
Ноябрь	0,00	-0,08
Декабрь	-0,17	0,20

Как видно из данных таблицы 2, достоверная корреляция между колебаниями индексов прироста и колебаниями метеопараметров зафиксирована для температур июня и июля прошлого года.

Повышенные температуры оказывают отрицательное влияние на величину прироста, причем проявляется этот эффект лишь на следующий вегетационный сезон. Экофизиологический механизм такого влияния может быть описан через влияние водного дефицита (вызываемого повышенными температурами) на заложение вегетативных почек и худшими условиями для развития ассимиляционной поверхности в следующем вегетационном сезоне, а также через ухудшение условий для фотосинтеза и уменьшение запаса ассимиляционных веществ, используемых весной следующего года для быстрого формирования ассимиляционной поверхности и обеспечения работы камбия [23].

Ярко выраженное отрицательное влияние повышенных летних температур на прирост следующего года было зафиксировано для ели европейской в условиях заповедника «Кивач» (Южная Карелия) [26]. Для осины подобного рода связи были обнаружены на границе лесной и лесостепной зон в условиях Мордовского заповедника (отрицательное

влияние на прирост повышенных температур июня, июля и августа прошлого года), но не найдены для древостоев из Центрально-Лесного заповедника (Тверская область) и Молокчинского заказника (север Московской области) [1].

Таким образом, установлено, что подобного рода климатический сигнал типичен для древостоев осины, произрастающих в приближающихся к аридным условиям. В соответствии с полученными данными следует прогнозировать ухудшение состояния осиновых лесов по мере глобального потепления климата в том случае, если оно будет сопровождаться ростом летних температур воздуха.

Прогноз о негативном влиянии глобального потепления на успешность роста гибридов осины сделан по результатам дендроклиматических исследований латвийских авторов. Гибриды европейской и американской осины демонстрировали достоверную отрицательную реакцию прироста на увеличение температур июля текущего календарного года (коэффициент корреляции приблизительно  $-0,30$ ) [27].

Временные ряды месячной суммы осадков по метеостанции г. Малоярославец содержат разрывы данных, поэтому корреляционный анализ было возможно выполнить лишь для отдельных периодов. Тем не менее такие данные представляют научный интерес, в том числе с точки зрения анализа стационарности климатического сигнала в исследуемых хронологиях. Результаты корреляционного анализа отражены в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов корреляции между индексами радиального прироста и средними месячными суммами осадков

Месяц	Осадки текущего года, период 2006—2018 гг.	Осадки прошлого года, период 2006—2018 гг.	Осадки текущего года, период 1979—1995 гг.	Осадки прошлого года, период 1979—1995 гг.
Январь	0,15	<b>0,61</b>	0,24	0,31
Февраль	0,45	-0,36	-0,38	-0,09
Март	0,11	0,12	-0,13	-0,24
Апрель	-0,17	0,30	-0,06	0,15
Май	-0,06	0,03	-0,13	-0,30
Июнь	-0,10	0,41	0,33	-0,10
Июль	0,04	0,18	-0,35	0,13
Август	-0,24	-0,23	<b>-0,60</b>	<b>-0,57</b>
Сентябрь	-0,33	-0,36	0,06	0,23
Октябрь	-0,26	0,07	0,35	0,18
Ноябрь	-0,08	0,01	-0,15	-0,03
Декабрь	0,08	-0,20	-0,15	-0,21

Анализируя данные таблицы 3, следует отметить, что положительная корреляция с осадками января достаточно убедительно поддается биологической интерпретации как обеспечивающая влагозарядку почвы, что в условиях холма с супесчаными почвами, по-видимому, оказывается существенным фактором среды, влияющим на успешность роста древостоя.

В 1979—1995 гг. наблюдалось сильное отрицательное влияние осадков августа текущего и прошлого года на величину прироста. В 2006—2018 гг. эта связь не просматривается. Избыточное увлажнение, как правило, вызывает в почве эффекты анаэробнозиса, что, по-видимому, оказывается существенным экологическим фактором, влияющим на рост осины в данных условиях [10].

Корневая система осины, сформировавшаяся целесообразно к сравнительно засушливым условиям роста на склоне моренного холма, оказывается чувствительной к внезапному возникновению фактора избыточного увлажнения в августе. Отрицательное влияние избыточного увлажнения, ведущее к формированию узких годичных колец, было установлено французскими учеными на материале осины обыкновенной, произрастающей на лесистом острове на реке Сона и испытывающей влияние паводков [21]. Таким образом, неустойчивость к избыточному увлажнению можно рассматривать в качестве одного из наследственных экологических свойств осины.

Связь между колебаниями прироста и колебаниями солнечной активности, отражаемой числами Вольфа, была обнаружена на самых первых этапах развития дендрохронологии и неоднократно исследовалась учеными [3; 6; 7; 22]. При этом, например, С. М. Матвеев [6], исследуя рост сосны обыкновенной в условиях Центральной лесостепи, обнаружил, что корреляционный анализ дает низкую тесноту прямолинейной связи: коэффициент корреляции не превышал 0,1.

В сравнении с данным результатом нами для исследуемого объекта получены достаточно высокие значения коэффициента корреляции между рядами индексов прироста осины и рядами чисел Вольфа (-0,34). Визуально связь между колебаниями чисел Вольфа и колебаниями индексов прироста в хронологии отражают графики на рисунке 5.

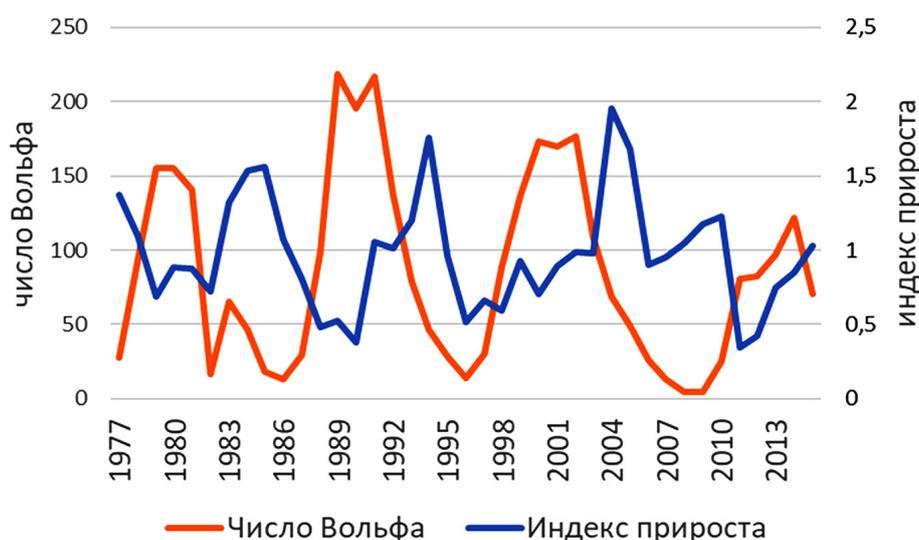


Рис. 5. Динамика индексов прироста в сравнении с динамикой чисел Вольфа

Циклическость в колебаниях прироста формальным образом позволяет выявить анализ Фурье. Результаты анализа, выполненные с применением окна Хемминга, отражает спектрограмма на рисунке 6. Длина анализируемого временного ряда составляла 38 лет.

В спектрограмме хронологии осины четко выражена циклическая компонента длиной 9,5 лет. Она в целом близка к 11-летнему циклу солнечной активности. Таким образом, выявленная при корреляционном анализе достоверная связь между динамикой индексов радиального прироста и динамикой чисел Вольфа получила подтверждение по результатам спектрального анализа Фурье.



Рис. 6. Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины

### Заключение

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что в условиях рассматриваемого объекта (на почвах низкой влагоемкости, в условиях интенсивного поверхностного стока осадков) рост осины в значительной степени зависит от высоких температур июня и июля, отрицательный эффект влияния которых проявляется в течение следующего вегетационного сезона. Аналогичного рода связь была зафиксирована авторами в засушливых условиях роста осины в Мордовском заповеднике [1].

Обнаруженные связи, с учетом материалов предыдущих исследований [1], дают основания прогнозировать ухудшение состояния осиновых лесов Русской равнины в целом по мере глобального потепления климата, сопровождающегося ростом его засушливости и ростом температур летних месяцев. Геологические особенности объекта исследования и его приближенность к южной границе ареала осины позволяют рассматривать его как удобный модельный объект для оценки влияния климатических факторов на рост осиновых лесов Русской равнины при условии прогнозирования роста температур и общей засушливости климата.

Климатический сигнал, обусловленный влиянием осадков, в рассматриваемой хронологии не стационарен, существует период, когда прирост в сильной степени зависит от осадков августа, при этом влияние избыточного количества осадков на прирост отрицательное.

Для объекта зафиксирован высокий уровень связи между колебаниями индексов прироста и чисел Вольфа: коэффициент корреляции между рядами равен  $-0,34$ . Результаты корреляционного анализа влияния чисел Вольфа на прирост подтверждаются данными спектрального анализа Фурье: в хронологии присутствует четко выраженная циклическая компонента периодом 9,5 лет, что в целом соответствует 11-летнему циклу солнечной активности.

Список источников

1. Воробьева Н. С., Румянцев Д. Е. Специфика проявления климатического сигнала в хронологиях осины для древостоев из разных частей Русской равнины // Лесохозяйственная информация. 2023. № 1. С. 5—16. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.01.
2. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высшая школа, 1973. 343 с.
3. Ловелиус Н. В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных явлений. Л. : Наука, 1979. 231 с.
4. Летопись погоды метеостанции г. Малоярославец. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27606.htm> (дата обращения: 24.03.2023).
5. Макарова Н. В., Трофимец В. Я. Статистика в Excel : учеб. пособие. М. : Финансы и статистика, 2002. 368 с.
6. Матвеев С. М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж : Изд-во ВГУ, 2003. 269 с.
7. Матвеев С. М. Цикличность в динамике радиального прироста естественных и искусственных сосновых древостоев в борах Центральной лесостепи // Вестник Московского государственного университета леса. 2014. № 5 (18). С. 110—116.
8. Особо охраняемые природные территории регионального и местного значения. URL: [http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OxранаOC/Osobo\\_охрауаение/](http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OxранаOC/Osobo_охрауаение/) (дата обращения: 24.03.2023).
9. Пальчиков С. Б., Румянцев Д. Е. Современное оборудование для дендрохронологических исследований // Вестник Московского государственного университета леса. 2010. № 3 (72). С. 46—51.
10. Русаленко А. И. Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность. Минск : Наука и техника, 1986. 238 с.
11. Румянцев Д. Е. Потенциал исследования дендрохронологической информации в лесной науке и практике : дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж, 2011. 354 с.
12. Румянцев Д. Е., Миславский А. Н. Методологические основы изучения биологического разнообразия лесообразующих пород дендрохронологическими методами // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2020. Т. 31, № 3-4. С. 120—132.
13. Румянцев Д. Е., Воробьева Н. С. Дендрохронологическое исследование роста осины в условиях Центрально-Лесного заповедника // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 1 (103). С. 78—83. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.038.
14. Румянцев Д. Е., Воробьева Н. С., Тютюкова Е. А., Моргунова М. В. Как связаны скорость радиального роста и пораженность гнилью у деревьев осины? // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XX Междунар. науч.-тех. конф. Вологда : ВГУ, 2022. С. 180—182.
15. Румянцев Д. Е., Липаткин В. А., Черакшев А. В., Воробьева Н. С. Методические рекомендации по отбору кернов древесины для целей дендрохронологических исследований в лесоведении и лесоводстве. М. : Профессиональная наука, 2022. 44 с.
16. Скомарокова М. В., Ваганов Е. А., Вирт К., Кирдянов А. В. Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород деревьев в подзоне средней тайги Центральной Сибири // География и природные ресурсы. 2009. Т. 32. С. 80—85.
17. Солнечная активность. URL: <https://meteo-dv.ru/geospace/AverageMonthW> (дата обращения: 24.03.2023).
18. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. М. : Бинوم-Пресс, 2008. 512 с.
19. Холм моренный Шатрищи. URL: <http://www.oopt.aari.ru/oopt/Холм-моренный-Шатрищи> (дата обращения: 24.03.2023).
20. Якушкина Я. И., Румянцев Д. Е. Анализ флористического спектра региональной ООПТ «Холм Шатрищи» Калужской области // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы XVIII Междунар. науч.-тех. конф. Вологда : ВГУ, 2020. С. 180—182.
21. Astarde L., Begin Y. Tree ring response of *Populus tremula* L. and *Quercus robur* L. to recent spring floods of Saone River, France // Ecoscience. 1997. Vol. 4, N 2. P. 232—239.
22. Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington : Carnegie institution, 1919. 127 p.
23. Fritts H. C. Tree rings and climate. London ; New York ; San Francisco : Academic press, 1976. 576 p.
24. Hogg E. H., Hart M., Lieffers V. J. White tree ring formed in trembling aspen saplings following experimental defoliation // Canadian Journal of Forest Research. 2011. Vol. 32, N 11. P. 1929—1934.
25. Metsaranta J. M., Mamet S. D., Maillet J., Barr A. G. Comparison of tree-ring and eddy-covariance derived annual ecosystem production estimates for jack pine and trembling aspen forests in Saskatchewan, Canada // Agricultural and Forest Meteorology. 2021. Vol. 307. Art. 108469. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108469.

26. Rumyantsev D. E. Dendroclimatic diagnostics of pine and spruce growth in the Kivach Reserve (Russian Karelia) // *Ecology, environment and conservation*. 2021. Vol. 27, Feb. Suppl. Issue. P. S322—S329.
27. Senhova S. M., Zeps M., Matisons R., Smigla J., Lazdina D., Jansons A. Effect of climatic factors on tree-ring width of *Populus* hybrids in Latvia // *Silva Fennica*. 2016. Vol. 50. P. 1—12.
28. Vorobyeva N. S., Rumyantsev D. E., Melikhova M. A. Study of the radial growth dynamics of the aspen (*Populus tremula* L.) at the north border of forest-steppe zone of the European part of Russia (Mordovian reserve) // *Journal of Agriculture and Environment*. 2022. N 2 (22). DOI: 10.23649/jae.2022.2.22.02.

## References

1. Vorob'eva N. S., Rumyantsev D. E. Spetsifika proyavleniya klimaticheskogo signala v khronologiyakh osiny dlya drevostoev iz raznykh chastei Russkoi ravniny [Specific Features of Climatic Signal in Chronologies for Stands from Different Parts of Russian Plain]. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya — Forestry Information*, 2023, no. 1, pp. 5—16. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.1.01. (In Russian)
2. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973. 343 p. (In Russian)
3. Lovelius N. V. *Izmenchivost' prirosta derev'ev. Dendroindikatsiya prirodnykh protsessov i antropogennykh yavlenii* [Variation in tree growth. Dendroindication of natural processes and anthropogenic phenomena]. Leningrad, Nauka Publ., 1979. 231 p. (In Russian)
4. *Letopis' pogody meteostantsii g. Maloyaroslavets* [Weather record of the weather station in Maloyaroslavets]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27606.htm>. Accessed: 24.03.2023. (In Russian)
5. Makarova N. V., Trofimets V. Ya. *Statistika v Excel: ucheb. posobie* [Statistics in Excel. Textbook]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2002. 368 p. (In Russian)
6. Matveev S. M. *Dendroindikatsiya dinamiki sostoyaniya sosnovykh nasazhdenii Tsentral'noi lesostepi* [Dendroindication of the dynamics of the state of pine plantations in the Central forest-steppe]. Voronezh, VGU Publ., 2003. 269 p. (In Russian)
7. Matveev S. M. Tsiklichnost' v dinamike radial'nogo prirosta estestvennykh i iskusstvennykh sosnovykh drevostoev v borakh Tsentral'noi lesostepi [Cyclicity in radial growth dynamics of natural and artificial scotch pine stands in pine woods of the Central forest-steppe]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Forestry Bulletin*, 2014, no. 5 (18), pp. 110—116. (In Russian)
8. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii regional'nogo i mestnogo znacheniya* [Specially protected natural areas of regional and local significance]. Available at: [http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OxranaOC/Osobo\\_oxrayaenie/](http://admoblkaluga.ru/sub/ecology/OxranaOC/Osobo_oxrayaenie/) Accessed: 24.03.2023. (In Russian)
9. Pal'chikov S. B., Rumyantsev D. E. Sovremennoe oborudovanie dlya dendrokronologicheskikh issledovaniy [Modern instrumentation for dendrochronological researches]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Forestry Bulletin*, 2010, no. 3 (72), pp. 46—51. (In Russian)
10. Rusalenko A. I. *Godichnyi prirost derev'ev i vlagobespechennost'* [Annual growth of trees and moisture supply]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1986. 238 p. (In Russian)
11. Rumyantsev D. E. *Potentsial issledovaniya dendrokronologicheskoi informatsii v lesnoi nauke i praktike: dis. ... d-ra biol. nauk* [The potential of the study of dendrochronological information in forest science and practice. Dr. Dis.]. Voronezh, 2011. 354 p. (In Russian)
12. Rumyantsev D. E., Mislavskii A. N. Metodologicheskie osnovy izucheniya biologicheskogo raznoobraziya lesoobrazuyushchikh porod dendrokronologicheskimi metodami [Methodological bases for studying the biological diversity of forest-forming species using dendrochronological methods]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 2020, vol. 31, no. 3-4, pp. 120—132. (In Russian)
13. Rumyantsev D. E., Vorob'eva N. S. Dendrokronologicheskoe issledovanie rosta osiny v usloviyakh Tsentral'no-Lesnogo zapovednika [A dendrochronological study of aspen growth in the Central forest nature reserve]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal — International Research Journal*, 2021, no. 1 (103), pp. 78—83. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.038. (In Russian)
14. Rumyantsev D. E., Vorob'eva N. S., Tyut'kova E. A., Morgunova M. V. Kak svyazany skorost' radial'nogo rosta i porazhennost' gnil'yu u derev'ev osiny? [How are the rate of radial growth and rot infestation in aspen trees related?]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy XX Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Relevant issues of development of the forest complex. Proceed. of the XX Internat. sci.-tech. conf.]. Vologda, VGU Publ., 2022, pp. 180—182. (In Russian)
15. Rumyantsev D. E., Lipatkin V. A., Cherakshev A. V., Vorob'eva N. S. *Metodicheskie rekomendatsii po otboru kernov drevesiny dlya tselei dendrokronologicheskikh issledovaniy v lesovedenii i lesovodstve* [Guidelines for the selection of wood cores for the purposes of dendrochronological research in forest science and forestry]. Moscow, Professional'naya nauka Publ., 2022. 44 p. (In Russian)

16. Skomarokova M. V., Vaganov E. A., Virt K., Kirdyanov A. V. Klimaticheskaya obuslovlennost' radial'nogo prirosta khvoinykh i listvennykh porod derev'ev v podzone srednei taigi Tsentral'noi Sibiri [Climatic conditionality of the radial growth of coniferous and deciduous trees in the subzone of the middle taiga of Central Siberia]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2009, vol. 32, pp. 80—85. (In Russian)
17. *Solnechnaya aktivnost'* [Solar Activity]. Available at: <https://meteo-dv.ru/geospace/AverageMonthW>. Accessed: 24.03.2023. (In Russian)
18. Khalafyan A. A. *STATISTICA 6. Statisticheskii analiz dannykh* [STATISTICA 6. Statistical data analysis]. Moscow, Binom-Press Publ., 2008. 512 p. (In Russian)
19. *Kholm morennyi Shatrishchi* [Shatrishchi moraine hill]. Available at: <http://www.oopt.aari.ru/oopt/Холм-моренный-Шатрищи>. Accessed: 24.03.2023. (In Russian)
20. Yakushkina Ya. I., Rummyantsev D. E. Analiz floristicheskogo spektra regional'noi OOPT "Kholm Shatrishchi" Kaluzhskoi oblasti [Analysis of the floristic spectrum of the regional SPNA "Shatrishchi Hill" of the Kaluga region]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy XVIII Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Relevant issues of the development of the forest complex. Proceed. of the XVIII Internat. sci.-tech. conf.]. Vologda, VGU Publ., 2020, pp. 180—182. (In Russian)
21. Astarde L., Begin Y. Tree ring response of *Populus tremula* L. and *Quercus robur* L. to recent spring floods of Saone River, France. *Ecoscience*, 1997, vol. 4, no. 2, pp. 232—239.
22. Douglass A. E. *Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity*. Washington, Carnegie institution, 1919. 127 p.
23. Fritts H. C. *Tree rings and climate*. London, New York, San Francisco, Academic press, 1976. 576 p.
24. Hogg E. H., Hart M., Lieffers V. J. White tree ring formed in trembling aspen saplings following experimental defoliation. *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, vol. 32, no. 11, pp. 1929—1934.
25. Metsaranta J. M., Mamet S. D., Maillet J., Barr A. G. Comparison of tree-ring and eddy-covariance derived annual ecosystem production estimates for jack pine and trembling aspen forests in Saskatchewan, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2021, vol. 307, art. 108469. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108469.
26. Rummyantsev D. E. Dendroclimatic diagnostics of pine and spruce growth in the Kivach Reserve (Russian Karelia). *Ecology, environment and conservation*, 2021, vol. 27, Feb. Suppl. Issue, pp. S322—S329.
27. Senhova S. M., Zeps M., Matisons R., Smigla J., Lazdina D., Jansons A. Effect of climatic factors on tree-ring width of *Populus* hybrids in Latvia. *Silva Fennica*, 2016, vol. 50, pp. 1—12.
28. Vorobyeva N. S., Rummyantsev D. E., Melikhova M. A. Study of the radial growth dynamics of the aspen (*Populus tremula* L.) at the north border of forest-steppe zone of the European part of Russia (Mordovian reserve). *Journal of Agriculture and Environment*, 2022, no. 2 (22). DOI: 10.23649/jae.2022.2.22.02.

#### Информация об авторах

**Н. С. Воробьева** — аспирант

**Д. Е. Румянцев** — доктор биологических наук

#### Information about the authors

**N. S. Vorobyeva** — Postgraduate Student

**D. E. Rummyantsev** — Doctor of Biological Sciences

Статья поступила в редакцию 25.03.2023; одобрена после рецензирования 31.07.2023; принята к публикации 20.08.2023

The article was submitted 25.03.2023; approved after reviewing 31.07.2023; accepted for publication 20.08.2023