БОТАНИКА/BOTANICS

DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГОДИЧНОГО РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ В КУЛЬТУРАХ НА ТЕРРИТОРИИ МОЛОКЧИНСКОГО ЗАКАЗНИКА (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Научная статья

Воробьева Н.С.[1,] *, Епишков А.А.[2], Белобров Д.В.[3]
[1, 2, 3] Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Мытищи, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (soln.natashenka[at]yandex.ru)

Аннотация

Целью исследований являлся анализ изменчивости годичного радиального прироста в древостое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Молокчинского ботанико-энтомологического заказника (Сергиево-Посадский район Московской области). Были отобраны керны древесины с 15 учетных деревьев в сосняке зеленчуковом. На их основании построены хронологии по абсолютной ширине годичного, по среднему текущему радиальному приросту за пять лет, по индексам прироста. Выполнен корреляционный анализ связи прироста с метеопараметрами и солнечной активностью, с помощью спектрального анализа Фурье исследована периодичность в изменчивости прироста. Установлено, что на прирост сосны оказывают выраженное положительное влияние температуры января. Недостаток осадков в июле ведет к формированию экстремально узких годичных колец. В динамике индексов радиального прироста присутствует выраженная периодическая составляющая с периодом 12,3 года. Связь индексов прироста с солнечной активностью имеет разный характер на разных временных интервалах.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, дендрохронология, дендроклиматология, дендроэкология, Молокчинский ботанико-энтомологический заказник.

INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE FORMATION OF ANNUAL RADIAL GROWTH OF PINE TREES IN CROPS ON THE TERRITORY OF THE MOLOKCHINSKY NATURE RESERVE (MOSCOW OBLAST)

Research article

Vorobeva N.S.[1,] *, Epishkov A.A.[2], Belobrov D.V.[3]
[1, 2, 3] Bauman Moscow State Technical University, Mytischi, Russian Federation

* Corresponding author (soln.natashenka[at]yandex.ru)

Abstract

The aim of the study was to analyse the variability of annual radial growth in a stand of *Pinus sylvestris* L. Scots pine on the territory of the Molokchinsky Botanical and Entomological Reserve (Sergiev Posad District, Moscow Oblast). Wood cores were taken from 15 survey trees in the green chuck pine forest. On their basis, chronologies were constructed by absolute annual width, by average current radial growth over five years, and by growth indices. The correlation analysis of growth relationship with meteorological parameters and solar activity was performed, periodicity in growth variability was studied using Fourier spectral analysis. It was found that the growth of pine has a pronounced positive influence of January temperatures. Lack of precipitation in July leads to the formation of extremely narrow annual rings. In the dynamics of radial growth indices, there is a pronounced periodic component with a period of 12.3 years. The relationship of growth indices with solar activity has a different character at different time intervals.

Keywords: Scots pine, dendrochronology, dendroclimatology, dendroecology, Molokchinsky Botanical and Entomological Reserve.

Введение

Изменчивость радиального прироста сосны обыкновенной и характер влияния на нее климатических факторов на территории Русской равнины достаточно хорошо изучены. Первые масштабные исследования такого рода были выполнены Т.Т. Битвинскасом [1]. Выполнялись исследования климатической обусловленности колебаний прироста в разных типах сосновых лесов заповедника «Кивач» (Южная Карелия) [8], а также в условиях сосняка лещинового в Одинцовском районе Московской области [9]. Исследования, выполненные в пределах карбонового полигона, заложенного на территории Фряновского участкового лесничества (Аксёновский лесохозяйственный участок) Московского учебно-опытного лесничества [10] показали, что радиальный прирост в культурах сосны зависит от таких метеофакторов, как температура января текущего года (коэффициент корреляции R=0,37), месячная сумма осадков июля текущего года (R=0,31); температура января прошлого года (R=0,37), температура октября прошлого года (R=0,39). На южной границе ареала сосны в условиях Русской равнины подробные исследования климатической обусловленности ее прироста выполнялись коллективом авторов под руководством заведующего кафедрой лесоводства и лесной таксации ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова профессора С.М. Матвеева. В частности, были выполнены исследования в 200-летнем древостое сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике [6]. На северной границе ареала в условиях Русской равнины климатическая обусловленность прироста сосны подробно исследована сотрудниками Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН (г. Архангельск) [7].

Общий обзор влияния климатических факторов на формирование годичных колец в условиях Русской равнины содержит статья директора Института географии РАН и соавторов [12].

Таким образом, характер связи радиального прироста сосны меняется не только в связи с региональными особенностями климата, но и в связи с локальными условиями произрастания. Это делает актуальным подробные исследования изменчивости радиального прироста сосны на субрегиональном уровне. Определенную познавательную ценность имеет сопоставление прироста разных природ в пределах локального условия произрастания. Целью нашего исследования был анализ изменчивости радиального прироста сосны и выявление характера влияния на нее метеорологических факторов в условиях Молокчинского ботанико-энтомологического заказника. Выбор объекта обусловлен тем, что ранее нами были выполнены подробные дендроклиматические исследования роста основных лесообразующих пород на данной территории [11]. Расположение Молокчинского ботанико-энтомологического заказника показано на карте на рисунке 1.

Рисунок 1 - Карта, характеризующая положение Молокчинского ботанико-энтомологического заказника
DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.1

Методы и принципы исследования

Отбор образцов древесины был проведен с 15 учетных деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с помощью бурава Пресслера. Отбор производился на высоте 1,3 м по произвольно взятому радиусу. Тип леса может быть охарактеризован как сосняк зеленчуковый. Состав древостоя: 8С2Е+Б. Подлесок был представлен такими кустарниками лещина обыкновенная (*Corylus avellana* (L.) H.Karst.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), жимолость лесная (*Lonicera xylosteum* L.), бузина красная (*Sambucus racemosa* L.) (ед.), крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.) (ед.). В подросте присутствовала ель европейская (*Picea abies* (L.) H.Karst.). Характеристика живого напочвенного покрова приведена в таблице 1.

Таблица 1 -

Характеристика живого напочвенного покрова в исследуемом древостое

DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.2

Вид	Проективное покрытие, %
1 ярус Кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth ex Mert.)	60
2 ярус Зеленчук жёлтый (*Galeobdolon luteum* (L.) L.)	60
Кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.)	30
Живучка ползучая (*Ajuga reptans* L.)	Менее 5
Подмаренник душистый (*Galium odoratum* (L.) Scop.)	Менее 5
Костяника (*Rubus saxatilis* L.)	Менее 5
Майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.)	Менее 5

Вид	Проективное покрытие, %
F.W.Schmidt)	
Злаки (*Poaceae* Barnhart)	Менее 5
Мниум волнистый (*Mnium undulatum* Hedw.)	Менее 5
Вороний глаз четырёхлистный (*Paris quadrifolia* L.)	Менее 5
Двулепестник парижский (*Circaea lutetiana* L.)	Менее 5

Характеристика учетных деревьев, с которых производился отбор кернов древесины приведена в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика учетных деревьев

DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.3

Учетное дерево, №	Диаметр на высоте 1,3 м, см	Класс роста по Крафту	Категория состояния	Географические координаты дерева	
				Широта	Долгота
1	38	I	2	56,386785°	38,367155°
2	37	I	1	56,3867846°	38,3673617°
3	43	I	1	56,3868667°	38,3672883°
4	47	I	1	56,3868587°	38,3674214°
5	45	I	1	56,3866333°	38,3674022°
6	39	II	2	56,3868117°	38,3671667°
7	37	II	2	56,3868633°	38,3671533°
8	44	I	1	56,3869283°	38,3672783°
9	42	I	2	56,3868533°	38,3672717°
10	32	III	1	56,3868133°	38,3672117
11	36	II	1	56,3869767°	38,3671233°
12	39	I	1	56,3869133°	38,3671317°
13	39	I	1	56,3867212°	38,3672422°
14	31	III	1	56,386775°	38,3670017°
15	38	I	1	56,3866893°	38,3673405°
Среднее	39	I,4	1,3	-	-

Керны древесины помещались в деревянную подложку, смачивались, зачищались лезвием бритвы и натирались порошком мела. Измерения ширины годичных колец производились с помощью микроскопа бинокулярного стереоскопического МБС-10 с точностью до 0,05 мм. Для контроля за правильностью измерений использовалась процедура перекрестной датировки в программе GROWLINE [5].

Основные результаты

Индивидуальные хронологии по ширине годичного кольца были проиндексированы: ширина каждого годичного кольца была поделена на среднюю ширину годичного кольца за последние пять лет [8], [9], [10]. На основе индивидуальной индексированной хронологии была рассчитана средняя индексированная хронология, в которой уже отсутствовал выраженный возрастной тренд (рис. 2). Для выявления влияния метеопарметров на колебания величины радиального прироста от года к году был выполнен корреляционный анализ временных рядов метеопараметров и временного ряда индексов прироста. Анализ осуществлялся как для метеопараметров в календарный год формирования годичного кольца (месячные суммы осадков, среднемесячные температуры), так и для метеопараметров в год, предшествовавший календарному году формирования годичного кольца [14]. Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 -

Результаты корреляционного анализа влияния метеопараметров на динамику индексов радиального прироста

DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.4

Месяц	Метеопараметр			
	Осадки текущего года	Осадки прошлого года	Температура текущего года	Температура прошлого года
январь	0,03	0,00	0,24*	0,26*
февраль	0,07	-0,12	0,06	0,11
март	0,06	-0,14	0,12	0,14
апрель	0,05	-0,03	0,18	0,10
май	0,18	-0,03	0,09	0,11
июнь	0,20	0,16	0,01	0,11
июль	0,17	-0,05	0,02	0,02
август	0,06	-0,13	0,04	-0,09
сентябрь	0,16	-0,07	-0,07	0,12
октябрь	0,02	0,02	0,08	0,26
ноябрь	0,13	0,07	0,07	0,05
декабрь	-0,14	-0,11	-0,03	0,11

*Примечание: * — достоверные при уровне доверительной вероятности 0,05 значения коэффициентов корреляции*

По результатам корреляционного анализа обнаружено достоверное положительное влияние на прирост повышенных температур января в календарный год формирования годичного кольца, ив предшествующий ему год. Полностью аналогичный результат для температур января был получен для культур сосны во Фряновском лесничестве Московской области [10].

Результаты дендроклиматического анализа на основе расчета коэффициентов корреляции могут быть дополнены дендроклиматическим анализом на основе метода климаграмм. Для этого необходимо выделить годы локальных экстремумов прироста (минимумов, максимумов), что можно сделать на основе визуального анализа графика на рис.2.

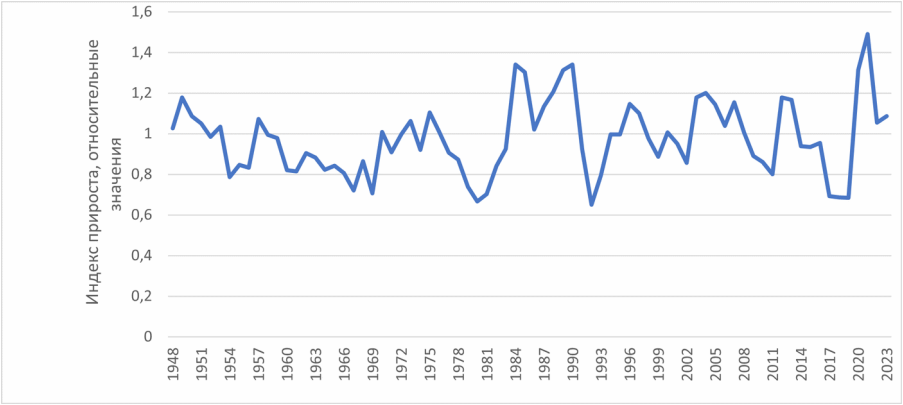

Рисунок 2 - Динамика индексов радиального прироста сосны в условиях Молокчинского ботанико-энтомологического заказника

DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.5

Таким образом, могут быть выделены годы локальных максимумов прироста: 1949, 1957, 1970, 1973, 1975, 1984, 1990, 1996, 2004, 2013, 2021 и годы локальных минимумов прироста: 1954, 1960, 1967, 1969, 1980, 1992, 2002, 2011, 2018. Полученные климаграммы для месячных сумм осадков и среднемесячных температур приведены на рис.3 и рис.4.

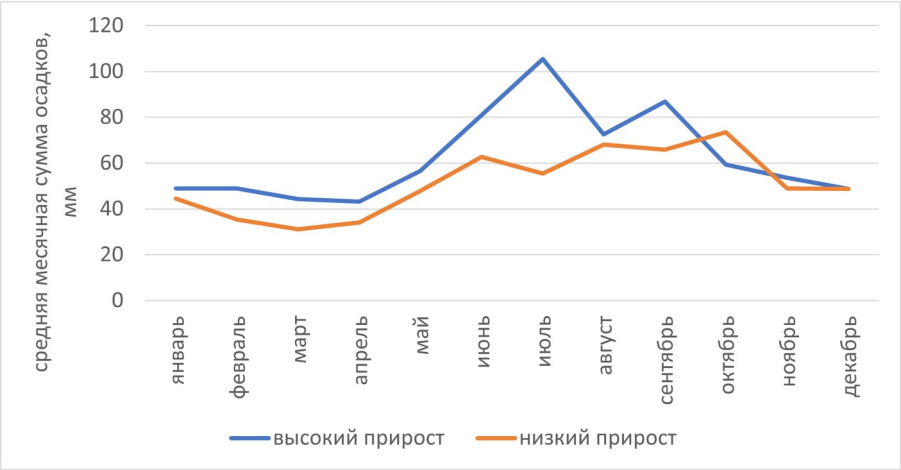

Рисунок 3 - Значение средней месячной суммы осадков для группы лет высокого и группы лет низкого прироста.
DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.6

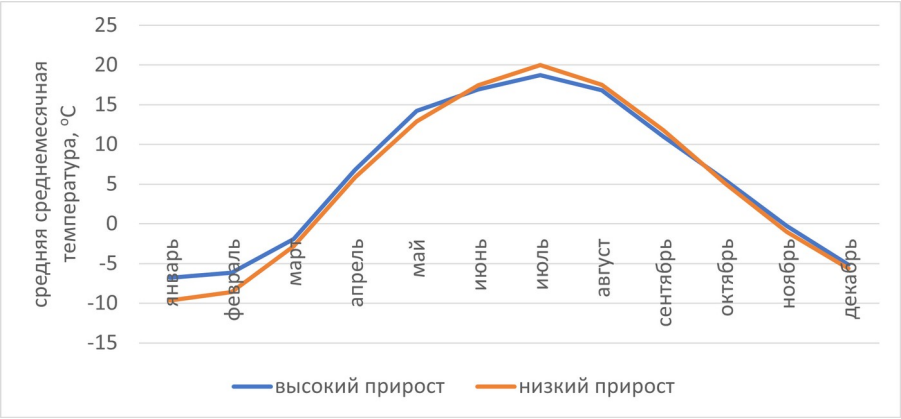

Рисунок 4 - Значение средней среднемесячной температуры для группы лет высокого и группы лет низкого прироста.
DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.7

Обсуждение

Из рисунка 3 хорошо видно, что повышенные суммы осадков в феврале, марте, мае, июне и в особенности в июле оказывают положительное влияние на прирост. Положительное влияние на прирост осадков февраля, марта, июня и июля было ранее зафиксировано при анализе методом климаграмм особенностей роста сосны в условиях сосняка лещинового в Одинцовском районе Московской области [9]. При анализе влияния среднемесячных температур (рис. 4) следует выделить положительное влияние повышенных температур января (что совпадает с результатами корреляционного анализа в таблице 2) и февраля, а также отрицательное влияние повышенных температур мая и июля. Отрицательное влияние повышенных температур июля фиксировалось при анализе методом климаграмм особенностей роста сосны в условиях сосняка лещинового в Одинцовском районе Московской области [9]. Таким образом результаты дендроклиматического анализа методом климаграмм и методом корреляционного анализа отчасти совпали между собой (для метеопараметра температуры января), а отчасти нет, что отражает факт того, что данные методы анализируют разные аспекты изменчивости радиального прироста. В тех случаях, когда результаты анализа двумя методами совпадают есть смысл говорить о выявлении действительно значимых связей между приростом и метеопараметрами. Результаты анализа методом климаграмм отчасти совпали с результатами для сосняка сложного из Одинцовского района Московской области. Это с одной стороны говорит о том, что в сходных типах леса из разных районов Московской области изменчивость радиального прироста определяется сходным набором метеопараметров, а с другой стороны о том, что в набор метеопараметров, определяющих динамику радиального прироста, входят метеопараметры специфичные для локальных условий произрастания.

Визуальный анализ графика на рис. 2 позволяет отметить наличие в колебаниях индекса прироста циклической компоненты. Выделить ее формальным образом возможно на основе процедуры анализа Фурье в программе STATISTICA 13.0 [1], [3], [13]. Результаты выполненного анализа Фурье отражает график на рис. 5.

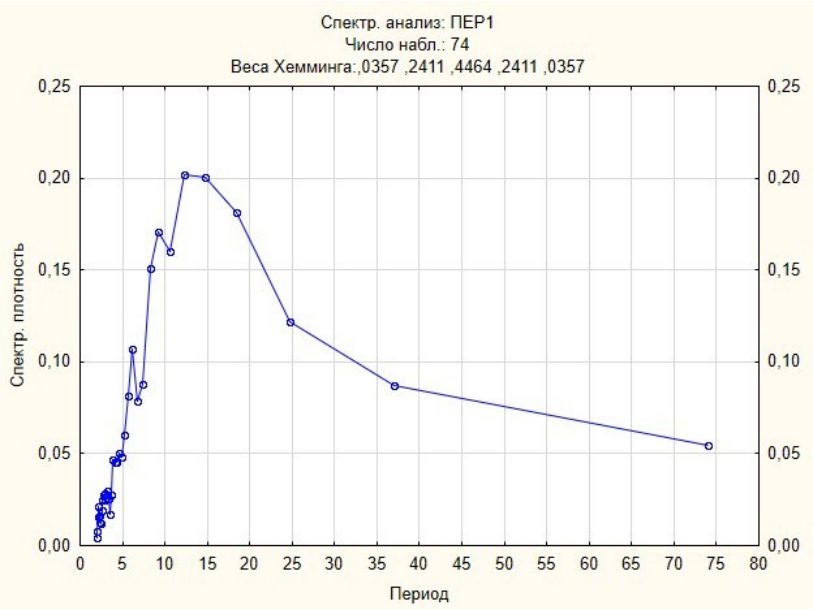

Рисунок 5 - Результаты спектрального анализа Фурье
DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.8

Как видно из данных рисунка 5 в изменчивости индексов радиального прироста в исследуемом древостое сосны содержится выраженная циклическая компонента с периодом 12,3 года, что в целом совпадает с 11-летним циклом солнечной активности. При этом коэффициент корреляции между временным рядом индексов радиального прироста и временным рядом чисел Вольфа за период 1949-2014 составляет -0,13, что не достоверно на уровне доверительной вероятности 0,05. Однако при рассмотрении динамики скользящего коэффициента корреляции за 20 лет складывается иная картина (рис.6).

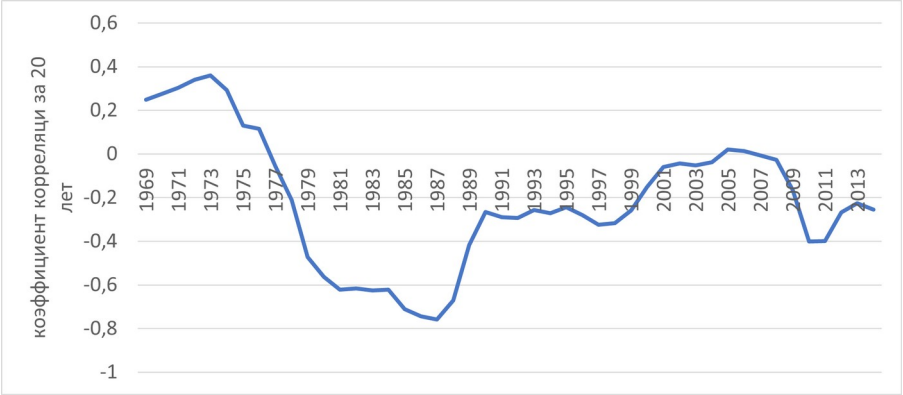

Рисунок 6 - Динамика скользящего коэффициента корреляции за 20 лет между временным рядом индексов радиального прироста и временным рядом чисел Вольфа
DOI: https://doi.org/10.18454/BIO.2024.1.3.9

Видно, что в отдельные периоды значения коэффициента корреляции достигают высоких достоверных значений. Так в период 1968-1987 гг. коэффициент корреляции равен -0,76 (значение достоверно на уровне доверительной вероятности 0,01). Следовательно, есть основания считать, что солнечная активность влияет на динамику радиального прироста сосны в исследуемом древостое, однако это влияние по-разному проявляется на разных временных интервалах.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования была изучена многолетняя динамика радиального прироста в древостое сосны обыкновенной из Молокчинского ботанико-энтомологического заказника и выявлены природные факторы ее определяющие.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования / Т.Т. Битвинскас. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1974. — 172 с.
2. Демина А.В. Особенности эколого-климатического отклика радиального прироста сосны обыкновенной в двух дефицитных по увлажнению регионах Сибири dis. ...канд. Natural sciences: 03.02.08 : защищена 2022-09-21 : утв. 2022-12-21 / А.В. Демина. — Воронеж: 2022. — 133 с.
3. Комаров Е.Г. Оценка цикличности колебаний прироста в древостоях осины на основе анализа Фурье. / Е.Г. Комаров, Д.Е. Румянцев, Н.С. Воробьева // Journal of Agriculture and Environment. — 2023. — 4 (32). — С. 1-14.
4. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. — Москва: Высшая школа, 1973. — 343 с.
5. Липаткин В.А. Перекрестная датировка дендрохронологических рядов с помощью ПЭВМ. / В.А. Липаткин, С.Ю. Мазитов. // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. тр. МГУлеса; — Москва: МГУлеса, 1997. — С. 103-110.
6. Матвеев С.М. Дендроклиматический анализ 200-летнего древостоя сосны обыкновенной в Воронежском биосферном заповеднике. / С.М. Матвеев, Д.А. Тимащук // Лесоведениен. — 2019. — 2. — С. 93-104.
7. Пинаевская Е.А. . Изменчивость роста деревьев Pinus sylvestris L. на верховых торфяных почвах в долине реки Кеми. / Е.А. Пинаевская, С.Н. Тарханов, С.Г. Потапов // Лесохозяйственная информация. — 2021. — 4. — С. 26-37.
8. Румянцев Д.Е. Влияние климатических факторов на рост сосны в Южной Карелии. / Д.Е. Румянцев // Лесоведение. — 2004. — 5. — С. 73-75.
9. Румянцев Д.Е. Дендроклиматический анализ роста сосны обыкновенной в условиях сосняка лещинового (Одинцовский район Московской области). / Д.Е. Румянцев, А.В. Черакшев // Уральский научный вестник. — 2017. — 2. — С. 28-39.
10. Румянцев Д.Е. Оценка влияния климатического режима на относительную интенсивность депонирования углерода в древостоях сосны обыкновенной в условиях карбонового полигона Фряновского лесничества (Московская область) / Д.Е. Румянцев, С.И. Чумаченко, В.А. Липаткин и др. // Лесной вестник. — 2024. — 3. — с. 1-26.
11. Румянцев Д.Е. Дендроэкологическое исследование роста осины в условиях Молокчинского заказника Московской области методами дендрохронологии. / Д.Е. Румянцев, Н.С. Воробьева, В.В. Новоселов // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». — 2024. — 3. — С. 1-39.
12. Соломина О.Н. От чего зависит ширина годичных колец деревьев в Центральной части Восточно-Европейской равнины? / О.Н. Соломина, В.В. Кузнецова, В.В. Мацковский и др. // Известия РАН, Серия географическая. — 2016. — 3. — с. 47-64.
13. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А.А. Халафян — Москва: Бином-Пресс, 2008. — 512 с.
14. Летопись погоды [Электронный ресурс] // Летопись погоды. — 2023. — URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history . (дата обращения: 24.03.23)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bitvinskas T.T. Dendroklimaticheskie issledovaniya [Dendroclimatic Studies] / T.T. Bitvinskas. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. — 172 p. [in Russian]
2. Demina A.V. Osobennosti e'kologo-klimaticheskogo otklika radial'nogo prirosta sosny' oby'knovennoj v dvux deficitny'x po uvlazhneniyu regionax Sibiri [Features of Ecological and Climatic Response of Radial Growth of Scots Pine in Two Regions of Siberia that are Deficient in Moisture] dis....of PhD in Natural sciences: 03.02.08 : defense of the thesis 2022-09-21 : approved 2022-12-21 / А.В. Демина. — Voronezh: 2022. — 133 p. [in Russian]
3. Komarov E.G. Ocenka ciklichnosti kolebanij prirosta v drevostoyax osiny' na osnove analiza Fur'e [Estimation of Cyclical Growth Fluctuations in Aspen Stands Based on Fourier Analysis]. / E.G. Komarov, D.E. Rumyancev, N.S. Vorob'eva // Journal of Agriculture and Environment. — 2023. — 4 (32). — P. 1-14. [in Russian]
4. Lakin G.F. Biometriya [Biometrics] / G.F. Lakin. — Moscow: Vy'sshaya shkola, 1973. — 343 p. [in Russian]
5. Lipatkin V.A. Perekrestnaya datirovka dendroxronologicheskix ryadov s pomoshh'yu PE'VM [Cross-dating of Dendrochronological Series Using a PC]. / V.A. Lipatkin, S.Yu. Mazitov. // Ecology, Monitoring and Rational Use of Natural Resources: scientific works of the Moscow State University of Forests; — Moscow: MGUlesa, 1997. — P. 103-110. [in Russian]
6. Matveev S.M. Dendroklimaticheskij analiz 200-letnego drevostoya sosny' oby'knovennoj v Voronezhskom biosfernom zapovednike [Dendroclimatic Analysis of a 200-year-old Stand of Scots Pine in the Voronezh Biosphere Reserve]. / S.M. Matveev, D.A. Timashhuk // Forest Science. — 2019. — 2. — P. 93-104. [in Russian]
7. Pinaevskaya E.A. . Izmenchivost' rosta derev'ev Pinus sylvestris L. na verxovy'x torfyany'x pochvax v doline reki Kemi [Variability of Growth of Pinus Sylvestris L. Trees on Top Peat Soils in the Valley of the Kemi River]. / E.A. Pinaevskaya, S.N. Tarxanov, S.G. Potapov // Forestry Information. — 2021. — 4. — P. 26-37. [in Russian]

8. Rumyancev D.E. Vliyanie klimaticheskix faktorov na rost sosny' v Yuzhnoj Karelii [Influence of Climatic Factors on Pine Growth in South Karelia]. / D.E. Rumyancev // Forest Science. — 2004. — 5. — P. 73-75. [in Russian]

9. Rumyancev D.E. Dendroklimaticheskij analiz rosta sosny' oby'knovennoj v usloviyax sosnyaka leshhinovogo (Odinczovskij rajon Moskovskoj oblasti) [Dendroclimatic Analysis of the Growth of Scots Pine in the Conditions of Hazel Pine Site (Odintsovo district of the Moscow region)]. / D.E. Rumyancev, A.V. Cherakshev // Ural Scientific Bulletin. — 2017. — 2. — P. 28-39. [in Russian]

10. Rumjantsev D.E. Otsenka vlijanija klimaticheskogo rezhima na otnositel'nuju intensivnost' deponirovanija ugleroda v drevostojah sosny obyknovennoj v uslovijah karbonovogo poligona Frjanovskogo lesnichestva (Moskovskaja oblast') [Assessment of the Influence of the Climatic Regime on the Relative Intensity of Carbon Deposition in Stands of Scots Pine in the Conditions of the Carbon Landfill of the Fryanovo Forestry (Moscow region)] / D.E. Rumjantsev, S.I. Chumachenko, V.A. Lipatkin et al. // Forest Bulletin. — 2024. — 3. — p. 1-26. [in Russian]

11. Rumyancev D.E. Dendroe'kologicheskoe issledovanie rosta osiny' v usloviyax Molokchinskogo zakaznika Moskovskoj oblasti metodami dendroxronologii [Dendroecological Studies of Aspen Growth in the Conditions of the Molokchinsky Nature Reserve of the Moscow Region Using Dendrochronology Methods]. / D.E. Rumyancev, N.S. Vorob'eva, V.V. Novoselov // News of Higher Educational Institutions "Forest Journal". — 2024. — 3. — P. 1-39. [in Russian]

12. Solomina O.N. Ot chego zavisit shirina godichnyh kolets derev'ev v Tsentral'noj chasti Vostochno-Evropejskoj ravniny? [What Determines the Width of Annual Tree Rings in the Central Part of the East European Plain?] / O.N. Solomina, V.V. Kuznetsova, V.V. Matskovskij et al. // Messages of the Russian Academy of Sciences, Geographical Series. — 2016. — 3. — p. 47-64. [in Russian]

13. Halafjan A.A. STATISTICA 6. Statisticheskij analiz dannyh [STATISTICA 6. Statistical data analysis] / A.A. Halafjan — Moscow: Binom-Press, 2008. — 512 p. [in Russian]

14. Letopis' pogody' [Chronicle of the weather] [Electronic source] // Chronicle of the weather. — 2023. — URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history . (accessed: 24.03.23) [in Russian]