

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,  
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,  
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1>

ОЦЕНКА ЦИКЛИЧНОСТИ КОЛЕБАНИЙ ПРИРОСТА В ДРЕВОСТОЯХ ОСИНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА  
ФУРЬЕ

Научная статья

Комаров Е.Г.<sup>1</sup>, Румянцев Д.Е.<sup>2,\*</sup>, Воробьева Н.С.<sup>3</sup>

<sup>2</sup>ORCID : 0000-0001-9871-9504;

<sup>1,2,3</sup> Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, Москва,  
Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (dendro15[at]list.ru)

**Аннотация**

Статья базируется на материале древесно-кольцевых хронологий осины *Populus tremula* L. из разных частей Русской равнины. Впервые на основе спектрального анализа Фурье была исследована цикличность колебаний прироста осиновых лесов. Выявлено, что для разных объектов в целом характерен разный характер цикличности колебаний прироста. При этом на трех географически удаленных объектах с малонарушенными осиновыми лесами (расположенных в пределах особо охраняемых природных территорий) четко проявляется циклическая компонента с периодом 9,5 лет. Такая же компонента (с периодом 9,6 лет) характерна для обобщенной хронологии осины, построенной путем осреднения всех использованных в исследовании хронологий в единую хронологию. Разные виды тополя (осина, тополь лавролистный), произрастая в однородных экологических условиях, характеризуются разными закономерностями циклической изменчивости прироста. Разные древостои осины, произрастая в однородных экологических условиях одного объекта, характеризуются идентичными закономерностями циклической изменчивости радиального прироста. Исследование циклической составляющей колебаний прироста может дать ключ к лучшему пониманию экофизиологических закономерностей формирования продуктивности и устойчивости осиновых лесов.

**Ключевые слова:** тополь дрожащий, дендрохронология, цикличность колебаний прироста, анализ Фурье.

AN ASSESSMENT OF CYCLICAL GROWTH IN ASPEN STANDS BASED ON FOURIER ANALYSIS

Research article

Komarov Y.G.<sup>1</sup>, Rumyantsev D.E.<sup>2,\*</sup>, Vorobeva N.S.<sup>3</sup>

<sup>2</sup>ORCID : 0000-0001-9871-9504;

<sup>1,2,3</sup> Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, Russian Federation

\* Corresponding author (dendro15[at]list.ru)

**Abstract**

The article is based on wood-ring chronologies of aspen *Populus tremula* L. from different parts of the Russian Plain. For the first time, the cyclicity of aspen forest growth fluctuations was examined on the basis of Fourier spectral analysis. It was found that different cyclicity of growth fluctuations was generally characteristic of different sites. At the same time, three geographically remote sites with intact aspen forests (located within specially protected natural areas) clearly show a cyclic component with a period of 9.5 years. The same component (with a period of 9.6 years) is characteristic of the generalized aspen chronology, constructed by averaging all the chronologies used in the study into a single chronology. Different poplar species (aspen, laurel poplar), growing in homogeneous ecological conditions, are characterized by different patterns of cyclic growth variability. Different stands of aspen, growing in homogeneous ecological conditions of the same site, are characterized by identical patterns of radial growth cyclic variability. The study of the cyclical component of growth variability may provide a key to a better understanding of the ecophysiological patterns of productivity formation and sustainability of aspen forests.

**Keywords:** *Populus tremula*, dendrochronology, cyclical growth fluctuations, Fourier analysis.

**Введение**

Процессы, протекающие в биосфере Земли, часто характеризуются циклическими колебаниями. Эти колебания могут иметь разные периоды: 0,1-1,5 млрд. лет (мегациклы), 1-100 млн. лет (макроциклы), 10-1000 тыс. лет (микроциклы); 1-100 лет (наноциклы); 160 минут – 1 год (пикоциклы) [1]. Природа, обуславливающая их появление, также может быть различной: геотектонические процессы, геомагнитные явления, гелиодинамика [4], [9]. Они проявляют себя в разных биосферных процессах, в том числе и в динамике колебаний прироста древесины в древостоях. Наличие циклической компоненты в приросте древесных растений неоднократно обсуждалось в работах известных дендрохронологов [3], [4], [5], [6], которые помимо прочего включали и подробные обзоры литературы по рассматриваемому вопросу.

В качестве примера исследований последних лет уместно привести результаты работы международного коллектива авторов [16], связанной с исследованием проявления 11-летнего цикла солнечной активности в изменчивости годовых колец. Известно, что Солнце обеспечивает основной приток энергии в земную систему, и

солнечная активность оказывает значительное внешнее воздействие на климат. Хотя наблюдения за солнечной активностью (солнечными пятнами) охватывают только приблизительно последние 400 лет, радионуклиды, образующиеся в результате воздействия космических лучей и накапливающиеся в кольцах деревьев или ледяных ядрах, служат индикаторами солнечной активности, насчитывающей тысячи лет. Однако наличие шума, вызванного погодой, или низкое временное разрешение длинных, точно датированных записей затрудняет основанные на космогенных нуклидах исследования краткосрочной солнечной изменчивости, такие как 11-летний цикл Швабе. В статье авторов представлен непрерывный погодовой отчет о концентрации  $^{14}\text{C}$  в атмосфере (скорректированный на фракционированное отношение  $^{14}\text{CO}_2$  к  $\text{CO}_2$ ), восстановленный по абсолютно датированным древесным кольцам, охватывающим почти все последнее тысячелетие (969-1933 годы н.э.). Запись с высоким разрешением и точностью  $^{14}\text{C}$  показывает наличие цикла Швабе во всем временном диапазоне. Запись подтверждает событие с частицами солнечной энергии 993 года н.э. и выявляет два новых события (1052 год н.э. и 1279 год н.э.), указывая на то, что сильные солнечные события, которые могут нанести вред современным электронным системам, вероятно, происходят чаще, чем считалось ранее. В дополнение к показу солнечной изменчивости в десятилетнем масштабе за последнее тысячелетие, запись атмосферного радиоуглерода с высоким временным разрешением также обеспечивает полезный ориентир для повышения точности радиоуглеродного датирования за этот интервал. Приведенный пример демонстрирует факт того, что исследования цикличности колебаний прироста древесных растений, несмотря на более чем столетнюю историю, продолжают оставаться актуальным направлением научной работы.

Большинство известных исследований цикличности колебаний прироста выполнены на материале хвойных и кольцесосудистых древесных пород, рассеяннососудистые породы (и, в частности, осина *Populus tremula* L.) практически не исследованы в этом отношении. Целью данного исследования было получение первых данных о цикличности колебаний радиального прироста в древостоях осины из разных частей Русской равнины.

### Объекты и методы

Отбор ядер велся буровом Пресслера на высоте 1,3 м. Отбор образцов древесины, измерение ширины годичных колец и построение древесно-кольцевых хронологий проводились по стандартной методике [8], [14]. Измерения осуществлялись на установке Lintab 5, проверка правильности измерений велась методом перекрестной датировки в программе Tsar-Win. Для лучшего проявления структуры годичных колец ядра 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 радиального прироста рассчитывался по формуле:

$$I_t = W_t / Y_t,$$

где  $W_t$  – ширина годичного кольца в год  $t$

$Y_t$  – средняя ширина годичного кольца за пять лет для года  $t$

Для выявления циклических составляющих изменчивости прироста использовался спектральный анализ Фурье в программе STATISTICA 13.0 [15]. В спектральном анализе исследуются периодические модели данных, его целью является разложение комплексных временных рядов с циклическими компонентами на несколько основных синусоидальных функций с определенной длиной волн. В результате успешного анализа можно обнаружить всего несколько повторяющихся циклов различной длины, присутствующих во временном ряду. Спектральный анализ распознает колебания различной длины и в результате дает возможность построить периодограмму и определяет оценки спектральной плотности. Методы спектрального анализа имеют большое значение для определения скрытой периодичности в данных. Результаты спектрального анализа обычно содержат коэффициенты частоты, периода, коэффициенты при синусах и косинусах, периодограмму и оценку спектральной плотности.

Результаты дендрохронологических исследований в древостоях осины, более подробная характеристика методики работ и объектов исследований приведена в серии предыдущих работ [2], [12], [13], [18]. Общая характеристика используемых в данной статье хронологий приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика используемых хронологий осины

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.1>

Объект	Область	Число ядер, шт	Год формирования первого годичного кольца в наиболее длинной хронологии	Средняя длина хронологии, годы
Центрально-Лесной заповедник	Тверская	21	1909	76
Молокчинский ботанико-энтомологический заказник (древостой с	Московская	20	1944	65

гнилью)				
Молокчинский ботанико-энтомологический заказник (безгнилевой древостой)	Московская	16	1960	53
Валентиновский питомник МФ МГТУ (осина)	Московская	20	1973	33
Валентиновский питомник МФ МГТУ (тополь бальзамический)	Московская	12	1967	47
Измайловский парк, г. Москва	Московская	12	1935	26
Терлецкий парк, г. Москва	Московская	12	1972	37
Памятник природы «Моренный холм Шатрищи»	Калужская	15	1944	54
Мордовский заповедник	Республика Мордовия	28	1934	77
Итого		144	1909	49

Как видно из данных таблицы 1, для ряда объектов было получено две хронологии. Для Молокчинского заказника получена хронология осины из древостоя, в котором более 50% учетных деревьев имеют на стволе плодовые тела осинового трутовика (*Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev & P.N. Borisov), то есть поражены ядровой гнилью, и для древостоя, где возбудитель данной болезни практически отсутствует (плодовые тела обнаружены только на одном учетном дереве). В Валентиновском питомнике в дополнение к образцам древесины с клонов осины были отобраны керны в посадке тополя лавролистного (*Populus laurifolia* Ledeb.).

### Результаты и обсуждение

Результаты. Особенности анализа Фурье как статистической процедуры целесообразно рассмотреть на примере рядов чисел Вольфа (солнечной активности), обладающих выраженной 11-летней периодичностью (при этом реальный период между циклами составляет от 7 до 17 лет). Динамику чисел Вольфа за период 1930 – 2014 гг. отражает график на рисунке 1 [19]. На нем просматривается четко выраженная цикличность как по максимумам, так и по минимумам значений временного ряда.

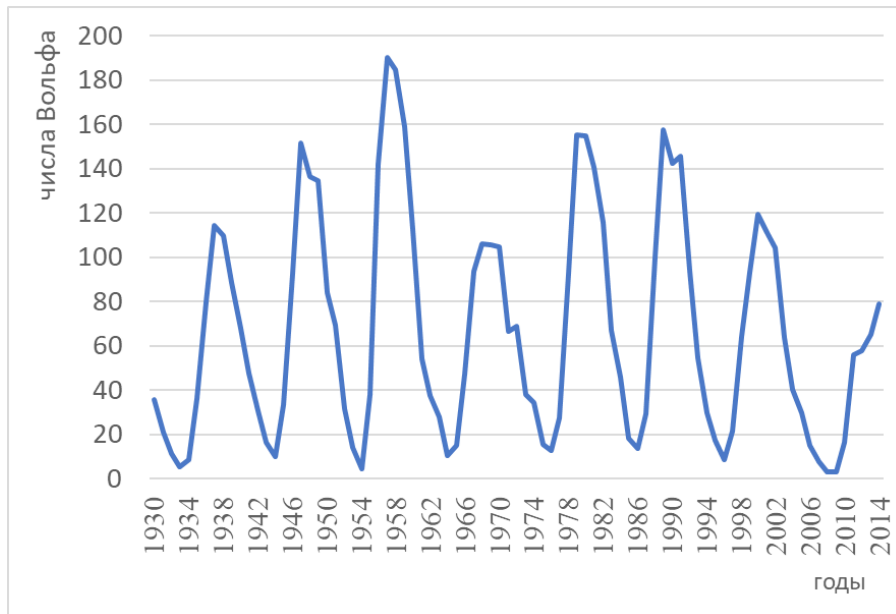


Рисунок 1 - Характеристика используемых хронологий осины  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.2>

Результаты одномерного анализа Фурье для данного графика отражает график спектральной плотности на рисунке 2.

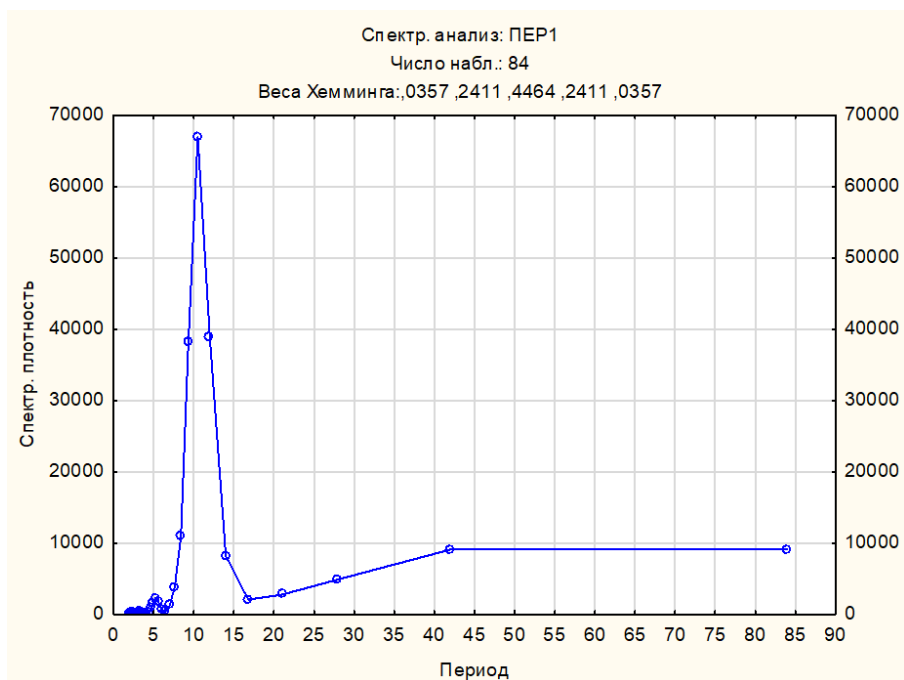


Рисунок 2 - Результаты спектрального анализа Фурье для ряда чисел Вольфа за период 1930-2015 гг.  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.3>

Значения в итоговой таблице, выдаваемой при выполнении процедуры одномерного спектрального анализа программой STATISTICA 13.0 позволяют точно определить период, для которого наблюдается максимум спектральной плотности со значением 66 988,14. Этот период составляет 10,5 лет. Известно, что в XX веке цикличность условно называемого 11-летнего цикла солнечной активности была ближе к 10,5 годам [20].

Результаты спектрального анализа Фурье для индексированных рядов радиального прироста осины, выполненные с применением окна Хемминга, отражены в периодограммах на рис. 4 -13. Все хронологии анализировались на одном и том же, общем для всех временном интервале 1977-2015 гг. Для данного же периода отдельно выполнен анализ Фурье для временного ряда чисел Вольфа (рис. 3).

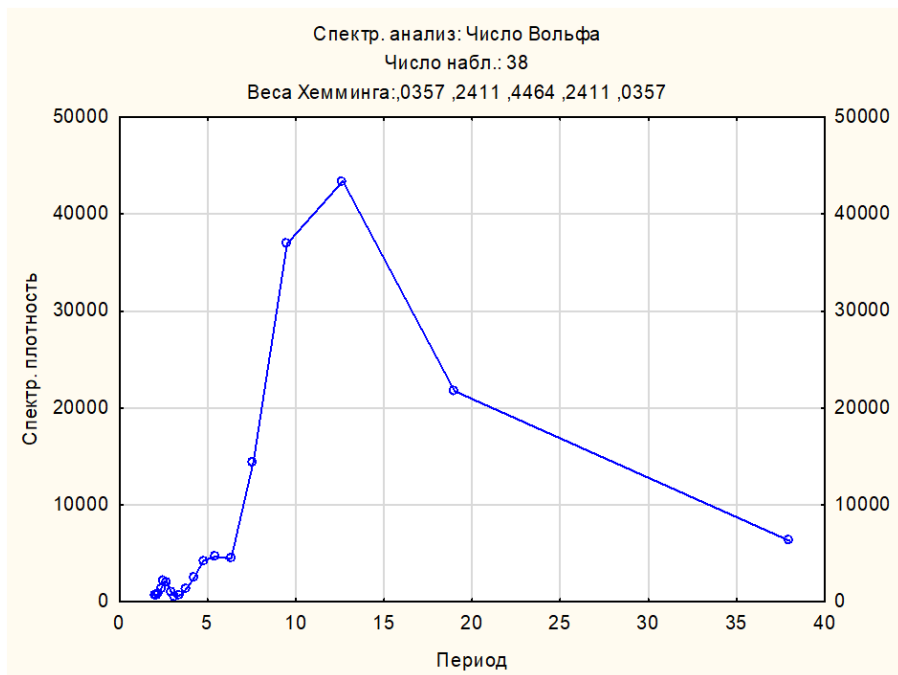


Рисунок 3 - Результаты спектрального анализа Фурье для ряда чисел Вольфа за период 1977-2015 гг.

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.4>

Анализируя периодограмму на рис 3 следует отметить, что результаты анализа отличаются от данных анализа за период 1930 – 2014 гг. В данном случае анализ выделил основную циклическую компоненту с периодом 12,6 лет, а не 10,5 как в периодограмме на рис. 1.



Рисунок 4 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины из Мордовского заповедника

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.5>



Рисунок 5 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины с объекта «Моренный холм Шатрищи»  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.6>

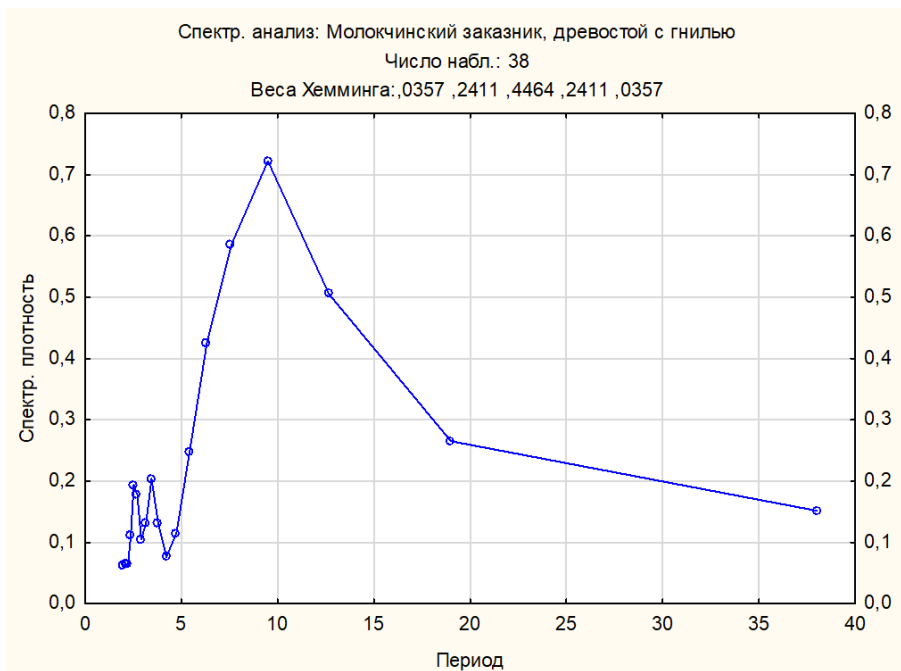


Рисунок 6 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины из Молокчинского заказника (древостой с гнилью)  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.7>

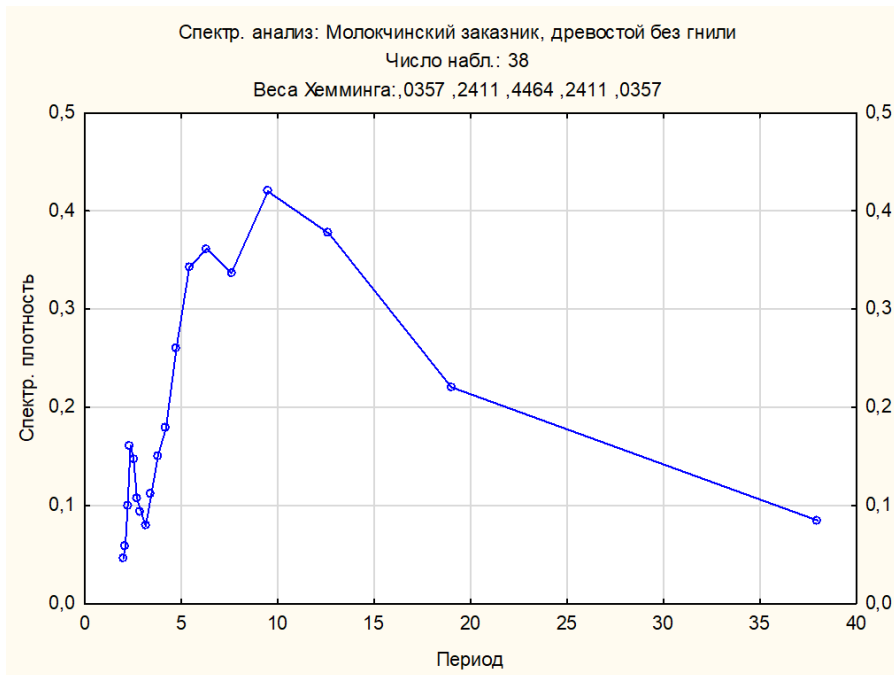


Рисунок 7 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины из Молокчинского заказника (древостой без гнили)  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.8>

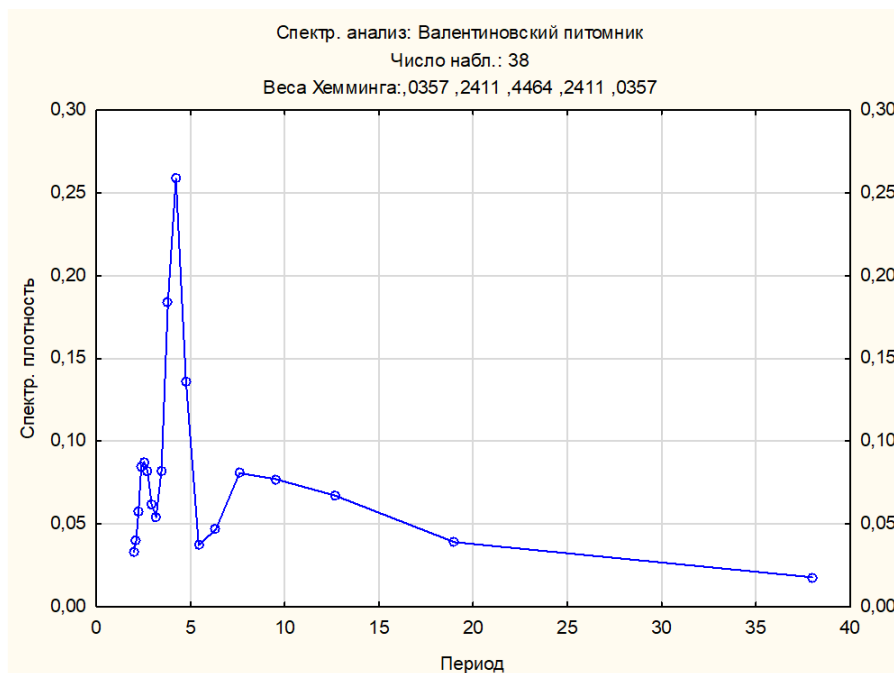


Рисунок 8 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины из Валентиновского питомника  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.9>

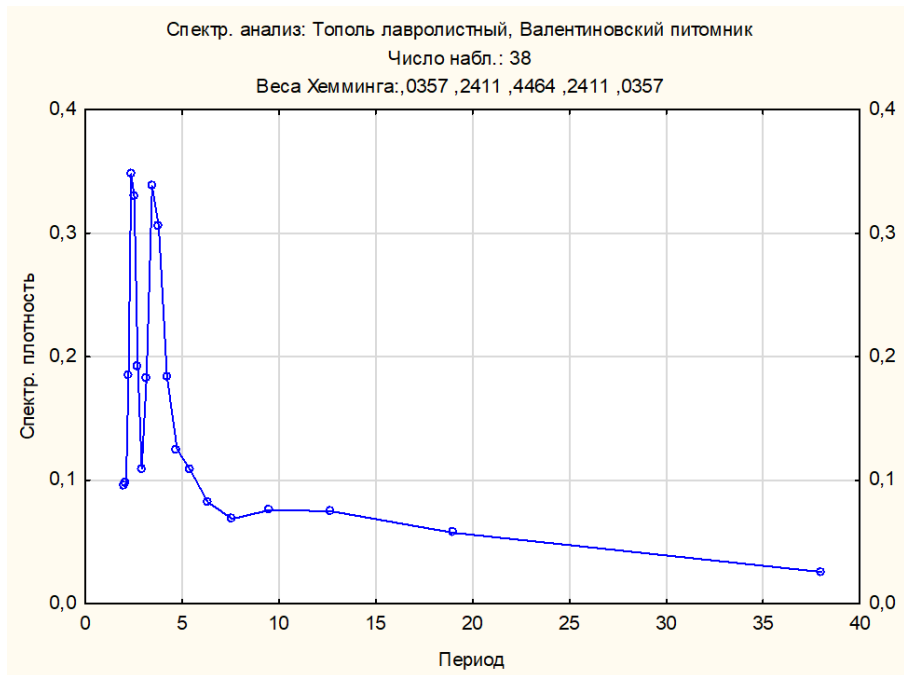


Рисунок 9 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии тополя лавролистного из Валентиновского питомника  
 DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.10>

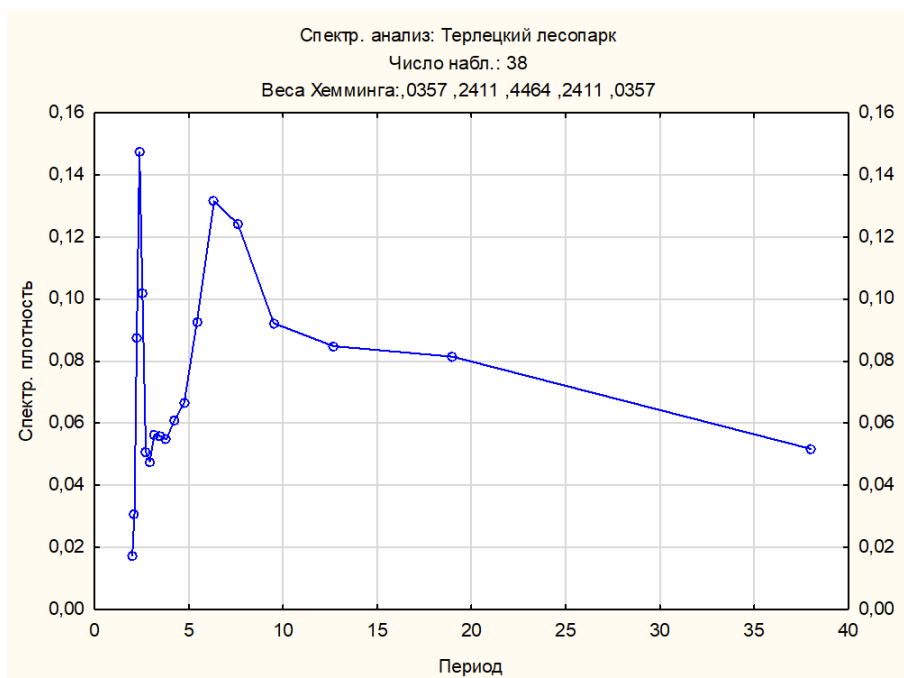


Рисунок 10 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины из Терлецкого лесопарка (г. Москва)  
 DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.11>



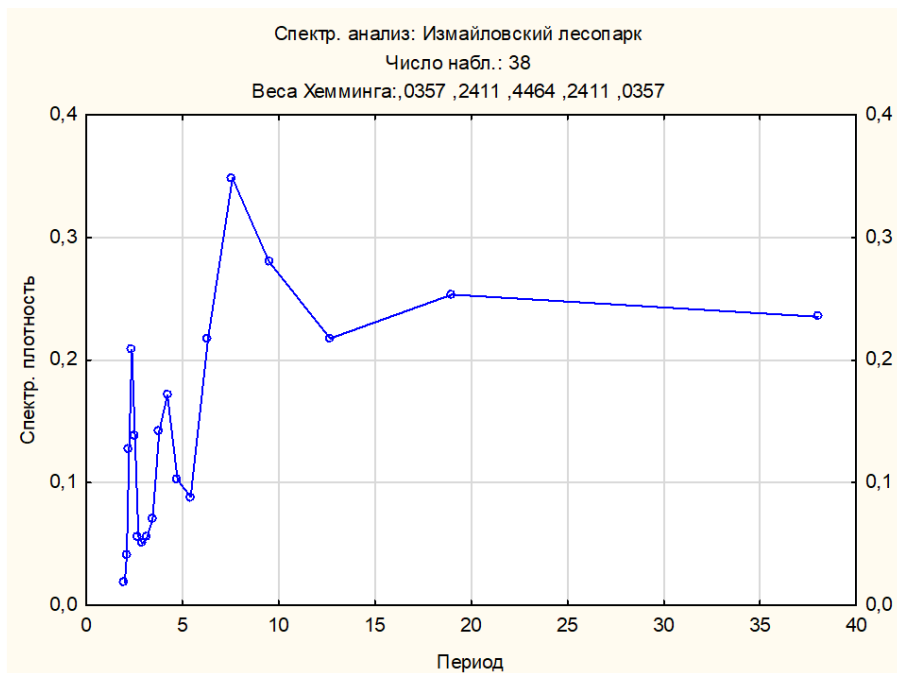


Рисунок 11 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины из Измайловского лесопарка (г. Москва)  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.12>

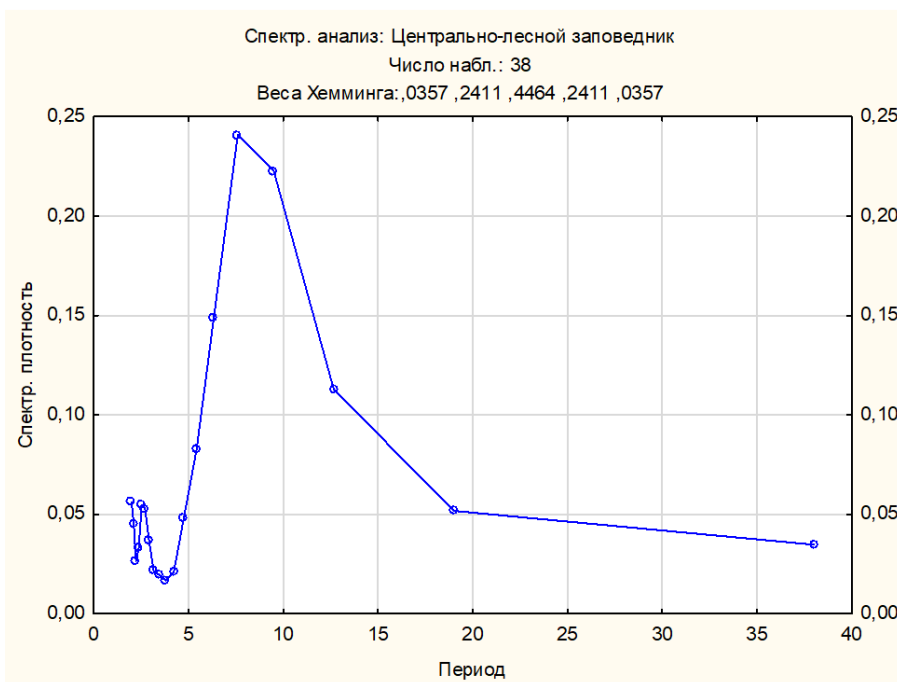


Рисунок 12 - Результаты спектрального анализа Фурье для хронологии осины из Центрально-лесного заповедника  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.13>

По данным анализа видно, что для каждой хронологии наблюдаются отличающиеся значения по показателю преобладающей циклической компоненты. При этом в 4 хронологиях из 9 рассмотренных процедура анализа выделила циклическую компоненту с периодом 9,5 лет. Характерно, что это географически удаленные друг от друга объекты, расположенные на особо охраняемых природных территориях: Молокчинский заказник, Моренный холм Шатрищи, Мордовский заповедник. Солнечная активность является фактором, доза которого в каждый отдельный момент времени одинакова для удаленных друг от друга объектов, она может выступать в качестве единого синхронизирующего прирост древесины в древостоях фактора. Усредняя хронологии с географически разных объектов, мы должны ожидать аннигиляции региональные особенностей роста и более четкого выявления астрофизических компонент изменчивости прироста. Для этого на основе хронологий осины, описанных в таблице 1, нами была рассчитана общая средняя хронология. Результаты ее спектрального анализа представлены на рис. 13.

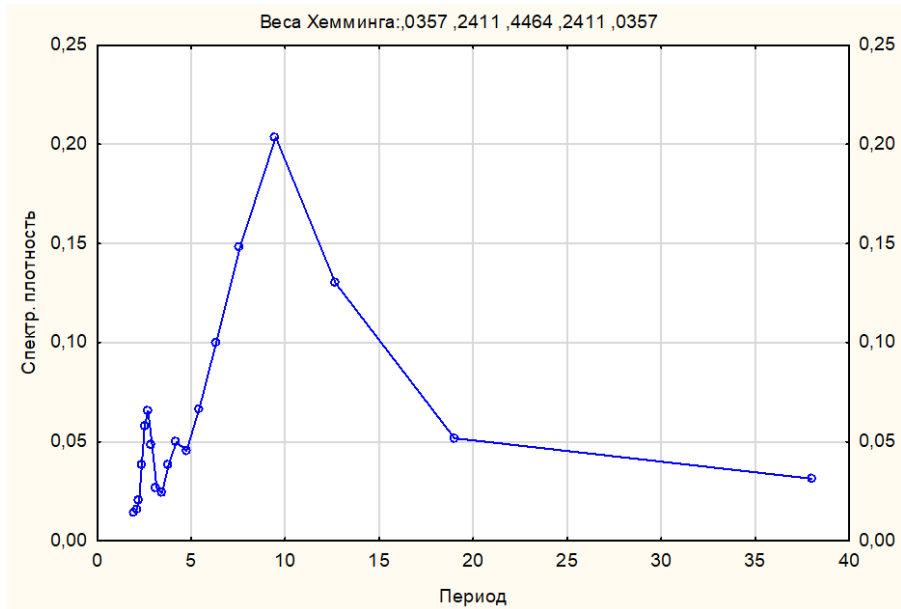


Рисунок 13 - Результаты спектрального анализа Фурье для обобщённой хронологии осины  
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.14>

Как видно по данным периодограммы на рис. 12, основная циклическая компонента в исследуемой хронологии имеет период 9,6 лет. Таким образом, периодическую компоненту 9,5-9,6 лет следует считать характерной чертой в изменчивости прироста древостоев осины на территории Русской равнины. Она в целом близка к 11-летнему циклу Солнечной активности, но очевидно, что не соответствует ему полностью – геомагнитная активность Солнца испытывает модифицирующее влияние со стороны их факторов, в качестве которых могут выступать прежде всего межгалактические космические лучи [11], а также космические факторы иной природы [9]. Итоговые результаты анализа сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Спектральные характеристики временных рядов

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.1.15>

Объект	Циклическая компонента, период лет	Спектральная плотность, условные единицы
Центрально-Лесной заповедник	7,6	0,24
Молокчинский ботанико-энтмологический заказник (древостой с гнилью)	9,5	0,72
Молокчинский ботанико-энтмологический заказник (безгнилевой древостой)	9,5	0,42
Валентиновский питомник МФ МГТУ	4,2	0,26
Валентиновский питомник, тополь лавролистный	2,4	0,35
	3,4	0,34
Измайловский парк, г. Москва	7,6	0,34
	4,2	0,17
Терлецкий парк, г. Москва	6,3	0,13
	2,4	0,14
Памятник природы «Моренный холм Шатрищи»	9,5	0,93
Мордовский заповедник	9,5	0,71
Обобщенная хронология по осине	9,6	0,20
Число Вольфа	12,8	42859,9

Помимо циклической компоненты 9,5 лет следует отметить, что для двух хронологий зафиксирована также одинаковая циклическая составляющая 7,6 лет. Также дважды зафиксированы циклические компоненты с периодом 2,4 года и 4,2 года. По-видимому, подобного рода циклы являются отражением некоторых эндогенных процессов в организме дерева [10].

### Заключение

Таким образом, в результате выполненных исследований было установлено:

- 1) на разных объектах (в древостоях из разных частей Русской равнины) циклическая колебаний прироста в индексированных хронологиях выражена по-разному;
- 2) среди рассматриваемой выборки хронологий наиболее часто встречается циклическая компонента с периодом 9,5 лет, что следует связывать с 11-летним циклом солнечной активности, влияние которого не является единственным и модифицируется действием иных экологических факторов. Компонента с таким же периодом (9,6 лет) характерна и для обобщенной хронологии осины по всем рассматриваемым объектам;
- 3) тополь лавролистный и тополь дрожащий, произрастая в одних и тех же экологических условиях (Валентиновский питомник) демонстрируют принципиально разные закономерности в циклической изменчивости величины радиального прироста;
- 4) два древостоя осины из разных географических точек одного объекта (Молокчинский заказник), отличающиеся, кроме того, по уровню пораженности осиновым трутовиком демонстрируют идентичные закономерности в циклической изменчивости радиального прироста;
- 5) помимо циклической компоненты 9,5 лет хронологии исследуемых древостоев демонстрируют наличие циклических компонент 7,6 лет; 6,3 года; 4,2 года; 3,4 года; 2,4 года. Их формирование, по-видимому, следует объяснять спецификой локальных экологических особенностей объекта исследования и эндогенно обусловленной циклическостью физиологических процессов в организме деревьев.

### 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. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т.2 Циклическая динамика в природе и обществе / под. ред. Н.П. Лавренова. — М.: Научный мир, 1998. — 432 с.
2. Воробьева Н.С. Специфика проявления климатического сигнала в хронологиях осины для древостоев из разных частей Русской равнины / Н.С. Воробьева, Д.Е. Румянцев // Лесохозяйственная информация. — 2023. — № 1. — С. 5-16.
3. Демаков Ю.П. Влияние факторов среды на рост деревьев в сосняках Республики Марий Эл: монография / Ю.П. Демаков. — Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. — 480 с.
4. Леви К.Г. Современная геодинамика и гелиогеодинамика / К.Г. Леви, Н.В. Задонина, С.А. Язев [и др.]. — Иркутск: ИГУ, 2012. — 539 с.
5. Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев / Н.В. Ловелиус. — Л.: Наука, 1979. — 231 с.
6. Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи / С.М. Матвеев. — Воронеж: ВГУ, 2003. — 269 с.
7. Матвеев С.М. Циклическая динамика радиального прироста естественных и искусственных сосновых древостоев в борах Центральной лесостепи / С.М. Матвеев // Вестник Московского государственного университета леса. — Лесной вестник. — 2014. — №5 (18). — С. 110-116.
8. Пальчиков С.Б. Современное оборудование для дендрохронологических исследований / С.Б. Пальчиков, Д.Е. Румянцев // Вестник Московского государственного университета леса. — 2010. — № 3(72). — С. 46-51.
9. Ретеюм А.Ю. Дендрохронология больших циклов Солнечной системы / А.Ю. Ретеюм // Вестник Московского государственного университета леса. — Лесной вестник. — 2014. — №5 (18). — С. 125-133.
10. Романовский М.Г. Перспективы моделирования динамики годичного прироста древесных растений как функции абиотических факторов / М.Г. Романовский // Научн. тр. МЛТИ. — Вып.256, 1992. — С. 72-74
11. Романовский М.Г. Лес и климат Центральной полосы России / М.Г. Романовский, Р.В. Щекалев. — М.: ИЛАН, 2009. — 65 с.
12. Румянцев Д.Е. Дендрохронологическое исследование роста осины в условиях Центрально-Лесного заповедника / Д. Е. Румянцев, Н. С. Воробьева // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 1-2 (103). — С. 78-83.
13. Румянцев Д.Е. Как связаны скорость радиального роста и пораженность гнилью у деревьев осины? / Д.Е. Румянцев, Н. С. Воробьева, Е. А. Тютюкова [и др.] // Материалы XX Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса». — Вологда, 2022. — С. 180-182

14. Румянцев Д.Е. Методические рекомендации по отбору ядер древесины для целей дендрохронологических исследований в лесоведении и лесоводстве / Д. Е. Румянцев, В. А. Липаткин, А. В. Черкашев [и др.]. — М.: Профессиональная наука, 2022. — 44 с.
15. Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных / А.А. Халафян // 3-е изд. Учебник. — М.: ООО «Бином-Пресс», 2008. — 512 с.
16. Brehm N. Eleven-year Solar Cycles over the Last Millennium Revealed by Radiocarbon in Tree Rings / N. Brehm, A. Bayliss, M. Christ [et al.] // Nature Geoscience. — Vol. 14, 10-15 (2021). — DOI: 10.1038/s41561-020-00674-0
17. Douglass A.E. Climatic Cycles and Tree-growth. A of study the Annual Rings of Trees in Relation to Climate and Solar Activity / A. E. Douglass. — Washington: Carnegie institution, 1919. — 127 p.
18. Vorobyova N.S. 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) / N.S. Vorobyova, D.E. Rummyantsev, M. A. Melikhova // Journal of Agriculture and Environment. — 2022. — № 2 (22).
19. Wdcb.ru. — URL: <http://www.wdcb.ru/stp/solar/sunspots.ru.html> (дата обращения: 10.02.2023)
20. Wikipedia.org. — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная\\_цикличность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_цикличность) (дата обращения: 10.02.2023)

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Atlas vremennykh variacij prirodnykh, antropogennykh i social'nykh processov [Atlas of Time Variations of Natural, Anthropogenic and Social Processes.]. Vol.2 Ciklicheskaya dinamika v prirode i obshchestve [Cyclical Dynamics in Nature and Society] / ed. by N.P. Lavrenov. — M.: Nauchnyj mir, 1998 — 432 p. [in Russian]
2. Vorob'eva N.S. Specifika proyavleniya klimaticheskogo signala v hronologiyah osiny dlya drevostoev iz raznykh chastej Russkoj ravniny [The Specifics of the Manifestation of the Climatic Signal in the Chronologies of Aspen for Stands from Different Parts of the Russian Plain] / N.S. Vorob'eva, D.E. Rummyantsev // Lesohozyajstvennaya informatsiya [Forestry Information]. — 2023. — № 1. — P. 5-16 [in Russian].
3. Demakov YU.P. Vliyaniye faktorov sredy na rost derev'ev v sosnyakh Respubliki Marij El: monografiya [The Influence of Environmental Factors on the Growth of Trees in the Pine Forests of the Republic of Mari El: monograph] / YU.P. Demakov. — Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2023. — 480 p. [in Russian]
4. Levi K.G. Sovremennaya geodinamika i geliogeodinamika [Modern Geodynamics and Heliogeodynamics] / K.G. Levi, N.V. Zodonina, S.A. YAzev [et al.]. — Irkutsk: ISU, 2012. — 539 p. [in Russian]
5. Lovelius N.V. Izmenchivost' prirosta derev'ev [Variability of Tree Growth] / N.V. Lovelius. — L.: Nauka, 1979. — 231 p. [in Russian]
6. Matveev S.M. Dendroindikatsiya dinamiki sostoyaniya osnovnykh nasazhdenij Central'noj lesostepi [Dendroindication of the Dynamics of the State of Pine Plantations in the Central Forest-steppe] / S.M. Matveev. — Voronezh: VSU, 2003. — 269 p. [in Russian]
7. Matveev S.M. Ciklichnost' v dinamike radial'nogo prirosta estestvennykh i iskusstvennykh osnovnykh drevostoev v borah Central'noj lesostepi [Cyclicity in the Dynamics of Radial Growth of Natural and Artificial Pine Stands in the Forests of the Central Forest-steppe] / S.M. Matveev // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa [Bulletin of the Moscow State University of the Forest]. — Lesnoj vestnik [Forest Bulletin]. — 2014 — №5 (18) — P. 110-116 [in Russian].
8. Pal'chikov S.B. Sovremennoye oborudovanie dlya dendrohronologicheskikh issledovaniy [Modern Equipment for Dendrochronological Research] / S.B. Pal'chikov, D.E. Rummyantsev // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa [Bulletin of the Moscow State University of the Forest]. — 2010. — № 3(72). — P. 46-51 [in Russian].
9. Retezum A.YU. Dendrohronologiya bol'shikh ciklov Solnechnoj sistemy [Dendrochronology of Large Cycles of the Solar System] / A.YU. Retezum // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa [Bulletin of the Moscow State University of the Forest]. — Lesnoj vestnik [Forest Bulletin]. — 2014. — №5 (18). — P. 125-133 [in Russian].
10. Romanovskij M.G. Perspektivy modelirovaniya dinamiki godichnogo prirosta drevesnykh rastenij kak funktsii abioticheskikh faktorov [Prospects for Modeling the Dynamics of Annual Growth of Woody Plants as a Function of Abiotic Factors] / M.G. Romanovskij // Nauchn. tr. MLTI [Proceedings of the MLTI]. — No. 256, 1992. — P. 72-74 [in Russian]
11. Romanovskij M.G. Les i klimat Central'noj polosy Rossii [Forest and Climate of Central Russia] / M.G. Romanovskij, R.V. SHCHekalev. — M.: ILAN, 2009. — 65 p. [in Russian]
12. Rummyantsev D.E. Dendrohronologicheskoe issledovanie rosta osiny v usloviyah Central'no-Lesnogo zapovednika [A Dendrochronological Study of Aspen Growth in the Conditions of the Central Forest Reserve] / D. E. Rummyantsev, N. S. Vorob'eva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. — 2021. — № 1-2 (103). — P. 78-83 [in Russian].
13. Rummyantsev D.E. Kak svyazany skorost' radial'nogo rosta i porazhennost' gnilyu u derev'ev osiny? [How Are the Rate of Radial Growth and the Incidence of Rot in Aspen Trees Related?] / D.E. Rummyantsev, N. S. Vorob'eva, E. A. Tyut'kova [et al.] // Materialy XX Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa» [Materials of the XX International Scientific and Technical Conference "Actual Problems of the Development of the Forest Complex"]. — Voloda, 2022. — P. 180-182 [in Russian]
14. Rummyantsev D.E. Metodicheskie rekomendatsii po otboru yadrov drevesiny dlya celej dendrohronologicheskikh issledovaniy v lesovedenii i lesovodstve [Methodological Recommendations on the Selection of Wood Cores for the Purposes of Dendrochronological Research in Forestry] / D. E. Rummyantsev, V. A. Lipatkin, A. V. CHerakshev [et al.]. — M.: Professional'naya nauka, 2022 — 44 p. [in Russian]
15. Halafyan A.A. Statistica 6. Statisticheskij analiz dannykh [Statistica 6. Statistical Data Analysis] / A.A. Halafyan // 3rd ed. Textbook. — M.: LLC «Binom-Press», 2008. — 512 p. [in Russian]
16. Brehm N. Eleven-year Solar Cycles over the Last Millennium Revealed by Radiocarbon in Tree Rings / N. Brehm, A. Bayliss, M. Christ [et al.] // Nature Geoscience. — Vol. 14, 10-15 (2021). — DOI: 10.1038/s41561-020-00674-0

17. Douglass A.E. Climatic Cycles and Tree-growth. A of study the Annual Rings of Trees in Relation to Climate and Solar Activity / A. E. Douglass. — Washington: Carnegie institution, 1919. — 127 p.
18. Vorobyova N.S. 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) / N.S. Vorobyova, D.E. Rumyantsev, M. A. Melikhova // *Journal of Agriculture and Environment*. — 2022. — № 2 (22).
19. Wdcb.ru. — URL: <http://www.wdcb.ru/stp/solar/sunspots.ru.html> (accessed: 10.02.2023)
20. Wikipedia.org. — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная\\_цикличность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_цикличность) (accessed: 10.02.2023)