

**Влияние солнечной активности на рост осины
в условиях мордовского заповедника***Д.Е. Румянцев,* Н.С. Воробьева*

Мытищинский филиал Московского государственного технического университета
им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет),
141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

*Адрес для переписки: *dendro15@list.ru*

Реферат. Начиная с начала XX века, широко обсуждается проблема цикличности во временных рядах радиального прироста древесных растений и ее связь с цикличностью солнечной активности. Часто связь цикличности прироста в связи с цикличностью чисел Вольфа фиксируется для условий лесостепной зоны. В основе данного исследования лежат данные древесно-кольцевых хронологий осины обыкновенной (*Populus tremula* L.), полученные на основе образцов древесины, отобранных в Мордовском государственном природном заповеднике имени П.Г. Смидовича. Всего в анализ было включено 28 индивидуальных хронологий. Измерения ширины годичных колец проведено с помощью прибора Lintab-5. Для проверки правильности измерений использовалась перекрестная датировка в программе Tsar-Win. В нашем исследовании зафиксирована значимая отрицательная связь между изменчивостью индекса прироста осины и изменчивостью чисел Вольфа за период 1938-2017 гг. (коэффициент корреляции равен -0.24). При анализе динамики текущего радиального прироста за пять лет методом расчета скользящего коэффициента корреляции установлены значимые значения коэффициента корреляции от -0.94 до 0.90. Очевидно, что влияние солнечной активности на прирост может модифицироваться иными факторами, предположительно астрофизической природы. Результаты выполненных исследований демонстрируют хорошее соответствие гипотезе М.Г. Романовского и Р.В. Шекалева о том, что влияние солнечной активности на прирост может модифицироваться воздействием галактического излучения. Полученные выводы дают основание для пересмотра и анализа в ином ключе ранее полученных данных о связи между динамикой радиального прироста деревьев и колебаниями величины чисел Вольфа, а также расширяют наши представления о глубине биосферно-космических связей.

Ключевые слова. Влияние астрофизических факторов в биосфере, древесно-кольцевой анализ, *Populus tremula* L., радиальный прирост.

Influence of solar activity on aspen growth in the conditions of the mordovian nature reserve

D.E. Rumyantsev, N.S. Vorobieva*

Mytishchi branch of N.E. Bauman Moscow State Technical University
(National Research University),
1st Institutskaya str., 141005, Moscow region, Mytishchi, Russian Federation

*Correspondence address: *dendro15@list.ru*

Abstract. Since the beginning of the XX century, the problem of cyclicity in the time series of radial growth and woody plants and its relationship with the cyclicity of solar activity has been widely discussed. Often, the relationship of the cyclical growth in connection with the cyclical Wolf numbers is fixed for the conditions of the forest-steppe zone. This study is based on the data of tree-ring chronologies of aspen (*Populus tremula* L.) obtained on the basis of wood samples selected in the Mordovian State Nature Reserve named after P.G. Smidovich. The Lintab 5 device was used to measure the width of the annual ring. To verify the accuracy of the measurements, cross-dating was used in the Tsap-Win program. In our study, a significant negative relationship was recorded between the variability of the aspen growth index and the variability of Wolf numbers for the period 1938-2017 (the correlation coefficient is -0.24). When analyzing the dynamics of the current radial growth over five years, the method of calculating the sliding correlation coefficient established reliable values of the correlation coefficient from -0.94 to 0.90. It is obvious that the influence of solar activity on the increase can be modified by other factors, presumably of an astrophysical nature. The results of the performed studies demonstrate a good agreement with the hypothesis of M.G. Romanovsky and R.V. Shchekalyov that the influence of solar activity on growth can be modified by the influence of galactic radiation. The obtained conclusions provide a basis for revising and analyzing in a different way the previously obtained data on the relationship between the dynamics of radial growth of trees and fluctuations in the value of Wolf numbers, and also expand our understanding of the depth of biosphere-space relations.

Keywords. Influence of astrophysical factors in the biosphere, tree-ring analysis, *Populus tremula* L., radial growth.

Введение

Основоположником науки о солнечно-земных связях – гелиобиологии – является русский ученый Александр Леонидович Чижевский (1897-1964). В 1976 г., впервые на русском языке, была издана его книга "Земное эхо солнечных бурь" (первое издание – в 1938 г., Франция). Им указано на множество примеров влияния солнечной активности на проходящие в биосфере процессы.

Вопрос о возможной связи колебаний радиального прироста с влиянием солнечной активности был поднят на самых первых этапах становления ден-

дрохронологии (Douglass, 1919). Например, им приводятся следующие, представляющие интерес графики (рис. 1).

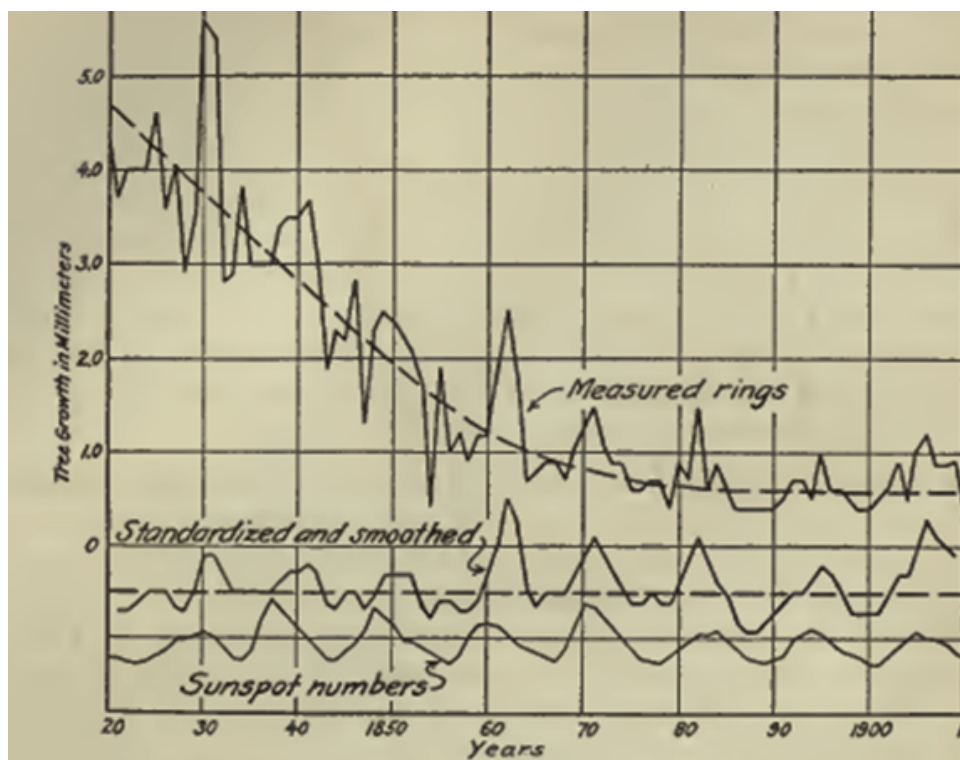


Рисунок 1. Пример связи между колебаниями солнечной активности и колебаниями ширины годичного кольца для ели из Южной Швеции (Douglass, 1919; стр. 75)

Figure 1. An example of the relationship between fluctuations in solar activity and fluctuations in the width of the annual ring for spruce from Southern Sweden (Douglass, 1919; page 75)

Обстоятельный обзор современного состояния проблемы солнечно-биосферных связей, подробную библиографию по этому вопросу содержат монографии иркутских ученых (Леви и др., 2012а; Леви и др., 2012б).

Подробные исследования данного вопроса, учитывающие в том числе опыт достаточно многочисленных предшественников, выполнены советским исследователем Н.В. Ловелиусом (1979). Он отмечает: «Разноречивые толкования связи «прирост деревьев – активность Солнца» можно объяснить, по-видимому, разнохарактерностью материала и бесконечным разнообразием используемых методов анализа, а также эпизодичностью исследований, как правило, на региональном материале, в которых эта связь выявлялась как побочный результат при решении других задач». Часто цикличность изменчивости прироста в связи с цикличностью солнечной активности фиксируется для условий степи и лесостепи (Шведов, 1892; Матвеев, 2003; Матвеев, Румянцев, 2013; Матвеев, 2014; Matveev et al., 2017).

Целью данного исследования был анализ влияния солнечной активности на колебания радиального прироста осины в условиях на границе лесной и

лесостепной зон. Дендрохронологические исследования роста рассеянно-судистых пород выполнялись достаточно редко по причине плохой различимости их годовичных колец, поэтому полученные нами данные имеют научную новизну.

Материалы и методы

Мордовский государственный природный заповедник имени П.Г. Смирнова расположен в европейской части России на северной границе лесостепной зоны. Методика сбора и получения дендрохронологического материала подробно описана в нашей предыдущей публикации (Vorobyeva et al., 2022). Средний диаметр изученных деревьев составляет 36 см, средняя высота – 32 м. Большая часть стволов деревьев имела плодовые тела осинового трутовика (*Phellinus tremulae* (Bond.) Bond. et Bor.), либо имела признаки развития гнили в стволе, которые были обнаружены на кервах. По-видимому, все исследуемые деревья одного возраста, примерно 85 лет несмотря на то, что на кервах было зафиксировано разное число годовичных колец (в том числе и по причине развития ядровой гнили). Отбиралось по 1 керну с каждого учетного дерева на высоте 1.3 м. Всего в анализ было включено 28 индивидуальных хронологий. Керна древесины смачивались водой, зачищались лезвием бритвы и натирались порошком мела для лучшего проявления структуры годовичных колец. Далее с помощью прибора Линтаб-5 производилось измерение ширины годовичных колец с точностью до 0.01 мм. Для контроля за правильностью измерений использовалась процедура перекрестной датировки в программе TSAP-Win (Rinntech). В итоге были получены индивидуальные (для каждого учетного дерева) хронологии по ширине годовичного кольца. На их основе выполнялись дальнейшие расчеты в программе Microsoft Excel.

В частности, на основе стандартной функции Microsoft Excel рассчитывался коэффициент корреляции Пирсона между временными рядами анализируемых показателей. Далее на основе предложенной нами методики рассчитывался скользящий коэффициент корреляции: в этом случае для расчета берется лишь отдельный временной интервал временного ряда и путем последовательного сдвигания этого временного «окна» на один год отслеживается динамика изменения сопряженности анализируемых показателей (Румянцев, 2011).

Для удаления из временного ряда возрастного тренда использовалась процедура индексирования: ширина годовичного кольца каждого года делилась на ширину годовичного кольца за последние 5 лет, на основании индивидуальных индексированных хронологий рассчитывалась средняя индексированная хронология (Румянцев, 2011).

Значения параметров солнечной активности (чисел Вольфа) с 1823 по 2022 гг. были получены с сайта <https://meteo-dv.ru/geospace/AverageMonthW/>. Для выполнения анализа Фурье использовалась лицензионная версия программы STATISTICA 13.0.

Результаты

На основании индивидуальных хронологий была получена средняя для древостоя хронология (рис. 2). С ее помощью методом визуального анализа были выявлены локальные максимумы и локальные минимумы прироста.

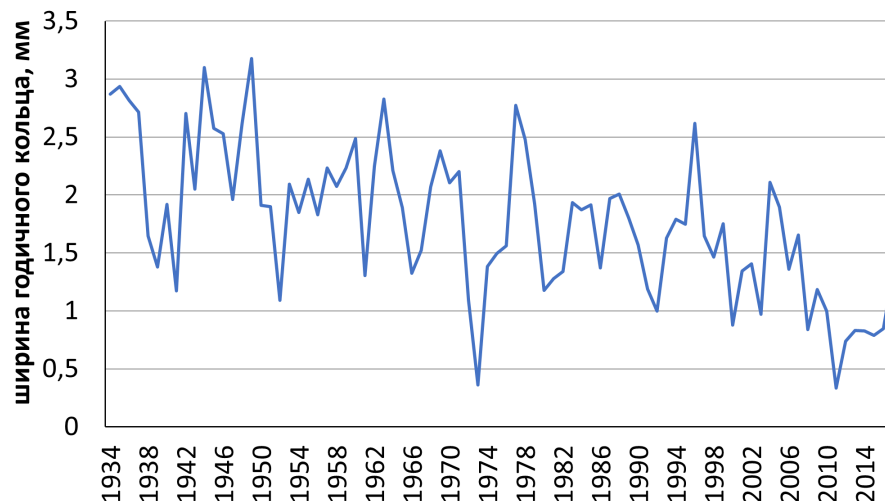


Рисунок 2. Среднее значение ширины годичного кольца для исследуемого древостоя осины по годам

Figure 2. The average value of the annual ring width for the studied aspen stand by years

На основе анализа графика к годам локальным минимумов прироста отнесены 1941, 1952, 1961, 1966, 1973, 1980, 1992, 2000, 2011 гг. Промежутки между минимумами составляют следующие количества лет: 11, 9, 5, 7, 7, 12, 11 и в среднем интервал между минимумами равен 8.8 лет. Локальные максимумы прироста наблюдались в 1944, 1949, 1963, 1969, 1977, 1996, 2004, 2015 гг. Промежутки между максимумами составляют следующие количества лет: 5, 14, 6, 8, 19, 8, 11 и в среднем интервал между максимумами равен 10 лет. Таким образом средние интервалы между минимумами и между максимумами практически совпадают: 9 и 10 лет.

Выполненное ранее дендроклиматическое исследование с использованием метода климаграмм (Ловелиус, 1979; Румянцев, 2011) показало четкую разницу в среднем количестве осадков в мае и июне в годы с минимумами прироста за период 1960-2021 гг. (Vorobyeva et al., 2022). Средние значения среднемесячных температур воздуха в годы экстремумов прироста близки к средним многолетним показателям. Влияние осадков мая и июня проявляется и при анализе метеоусловий в годы максимумов прироста.

При этом для лет минимумов прироста наблюдаются повышенные осадки мая и пониженные осадки июня. Это означает, что такого рода комбинация во временном распределении осадков негативно влияет на физиологическое состояние деревьев осины. Обильная влага в мае может стимулировать рост

тонких корней, а также формирование большой биомассы кроны, что требует поступления больших объемов воды и минеральных веществ. При таких начальных параметрах внезапное наступление засухи в июне приводит к резкому ухудшению состояния осины. Таким образом, не только среднее месячное значение метеопараметров, но и взаимная комбинация этих значений может влиять на отличия по размерам в годичных кольцах деревьев, что редко учитывается в дендроклиматических исследованиях.

Результаты визуального анализа цикличности колебаний прироста были проверены на основе формальной процедуры анализа Фурье с использованием окна Хемминга. Полученную в результате спектрограмму отражает график на рис. 3.

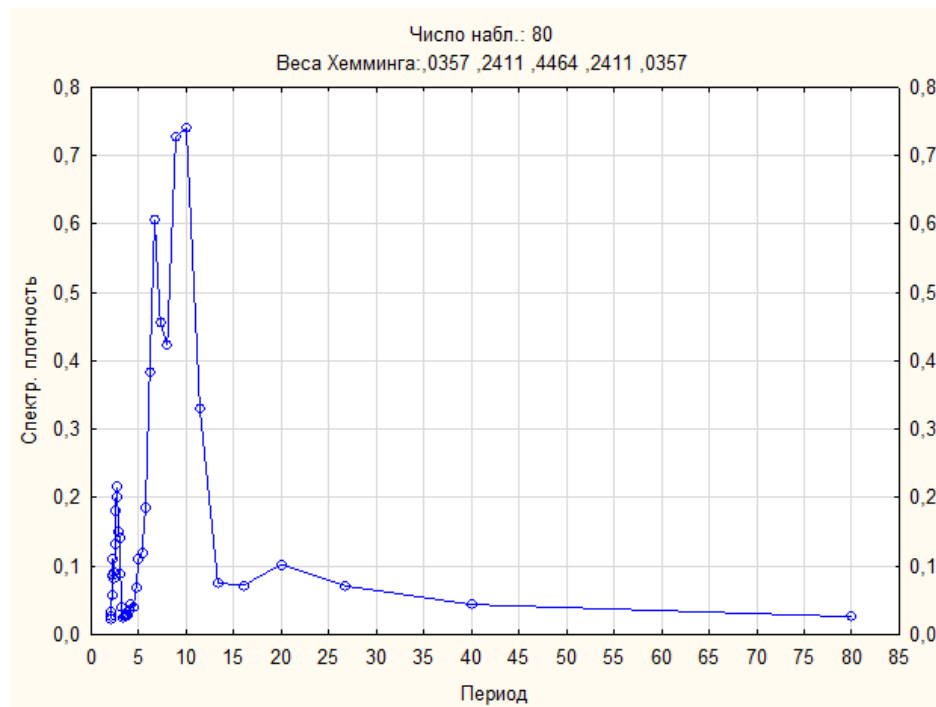


Рисунок 3. Результаты спектрального анализа Фурье для индексированной хронологии осины из Мордовского заповедника за период 1938-2017 гг.

Figure 3. Results of Fourier spectral analysis for the chronology of aspen from the Mordovian Reserve for the period 1938-2017

Из данных спектрограммы видно, что в колебаниях прироста четко выражена циклическая компонента с периодом 10 лет и 8.9 лет (результаты совпадают с результатами визуального анализа цикличности прироста: 10 лет для максимумов прироста и 9 лет для минимумов прироста). Также выражены циклические компоненты с периодом 6.7 и 2.8 лет. Подобного рода периодичность может быть связана с эндогенными процессами в организме деревьев, например с циклами семеношения (Романовский, 1992).

Коэффициент корреляции между хронологией по ширине годичного кольца (рис. 2) и временным рядом чисел Вольфа за период 1938-2017 гг.

равен 0, что, по всей видимости, связано с влиянием возрастного тренда во временном ряду изменчивости прироста. Удалить временной тренд возможно с помощью процедуры индексации, например, отнеся каждое значение ширины годичного кольца, к средней ширине годичного кольца за последние пять лет, и затем на основе индивидуальных индексированных хронологий рассчитав среднюю индексированную хронологию (Румянцев, 2010). Коэффициент корреляции между индексированным рядом и рядом чисел Вольфа за период 1938-2017 гг. равен -0.24, он значим при уровне доверительной вероятности 0.05, однако его значение лежит фактически на границе порога значимости. При этом следует учесть, что этот коэффициент достаточно высок для подобного рода исследований. Так С.М. Матвеев (2003), исследуя рост сосны обыкновенной в условиях Центральной лесостепи, обнаружил, что корреляционный анализ дает низкую тесноту прямолинейной связи: коэффициент корреляции не превышал 0.1. Очевидно, что влияние солнечной активности сказывается и на динамике климатических факторов (Матвеев, Румянцев, 2013). Но при этом важно учитывать, что динамика климатических факторов может иметь и иную природу обусловленности, а климатические факторы сами по себе оказывают прямое влияние на интенсивность физиологических процессов в организме дерева, активность камбия и радиальный прирост (Fritts, 1976; Ваганов, Шашкин, 2000). Графики временных рядов отражает рис. 4.

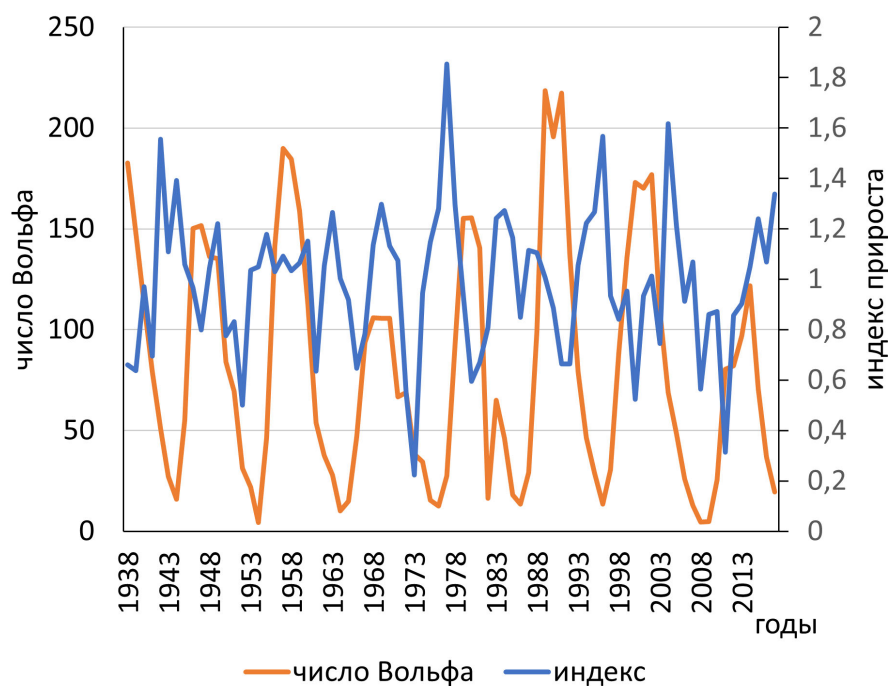


Рисунок 4. Сравнительная динамика индексов прироста осины и чисел Вольфа

Figure 4. Comparative dynamics of aspen growth indices and Wolf numbers

При визуальном анализе графиков на рис. 4 отрицательная связь между индексами прироста и солнечной активностью прослеживается достаточно четко. Еще одним вариантом сепарирования дендрохронологической информации в данном случае является рассмотрение динамики среднего текущего прироста за пять лет в связи с динамикой чисел Вольфа (рис. 5). Следует учитывать, что значение индекса прироста в 2017 г. представляет собой отношение ширины годичного кольца в 2017 г. к средней ширине кольца за период 2013-2017 гг. При иных вариантах индексации значения индексов прироста будут несколько иными.

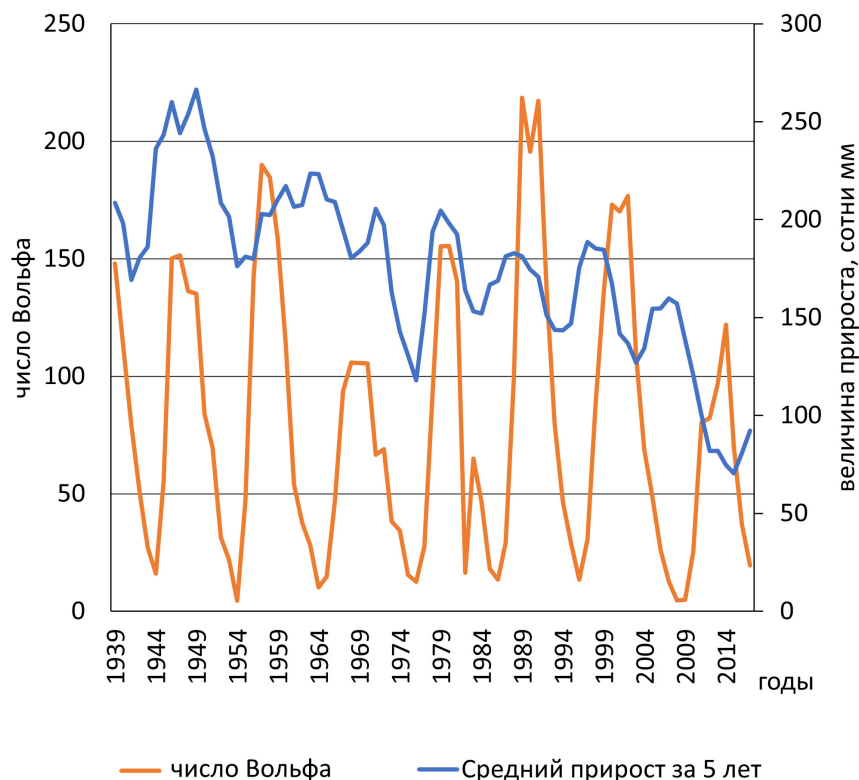


Рисунок 5. Сравнительная динамика текущего радиального прироста за пять лет и чисел Вольфа

Figure 5. Comparative dynamics of the current radial growth over five years and the Wolf numbers

Коэффициент корреляции между представленными на графике рядами равен 0.18, на уровне доверительной вероятности 0.05 он не значим и причины этого хорошо ясны при корреляционном анализе: есть участки, когда динамика прироста практически полностью повторяет динамику чисел Вольфа (например, 1939-1955; 1972-1984 гг.) и есть участки, где колебания двух величин находятся в противофазе (например, 2000-2016 гг.). Для анализа такого рода феномена наилучшим образом подойдет расчет скользящего коэффициента корреляции между рядами. График на рис. 6 отражает динамику скользящего коэффициента корреляции Пирсона за 11 лет.

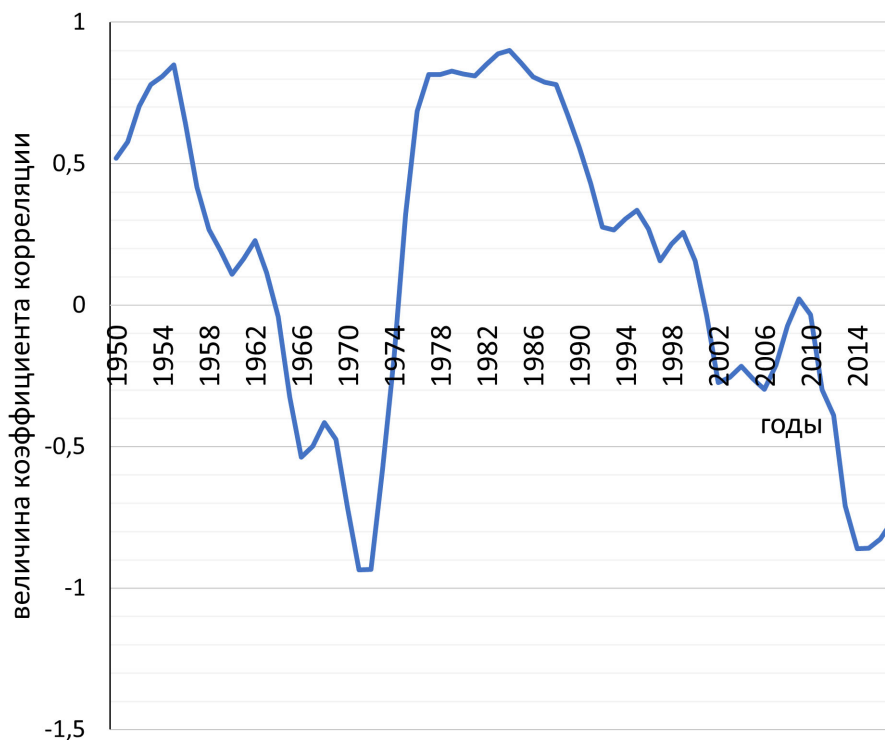


Рисунок 6. Динамика скользящего коэффициента корреляции за 11 лет между средним текущим радиальным приростом за пять лет и числами Вольфа

Figure 6. Dynamics of the sliding correlation coefficient over 11 years between the average current radial growth over five years and the Wolf numbers

При данных условиях расчета на уровне доверительной вероятности 0.05 значимы значения коэффициента корреляции от 0.60. Достоверная положительная корреляция наблюдается для периодов 1941-1956, 1966-1990 гг. Достоверная отрицательная корреляция наблюдается для периодов 1960-1973; 2003-2017 гг. В целом, значения скользящего коэффициента корреляции варьируют фактически от -1 (-0.93; -0.86) до +1 (0.85; 0.90).

Обсуждение результатов

Полученные результаты подтвердили ранее известную информацию о наличии связей между колебаниями ширины годовых колец деревьев и колебаниями солнечной активности. Достаточно хорошо известно, что эти связи невелики по тесноте, не стабильно проявляются в изменчивости прироста у деревьев разных видов и из разных географических районов, но тем не менее их существование не вызывает сомнений у серьезных исследователей. В нашем случае относительно новым наблюдением является факт не стационарности проявления связей прироста и солнечной активности на разных участ-

ках временного ряда изменчивости радиального прироста. Это наблюдение не является единичным: ранее мы наблюдали аналогичный феномен на дендрохронологическом материале «Лиственницы Петра I» из Аптекарского огорода Ботанического сада МГУ им. Ломоносова (Румянцев и др., 2018). Повидимому, существует фактор, способный существенным образом модифицировать характер влияния солнечной активности на прирост. В итоге рассматривая процесс для всей длины временного ряда, содержащего разного рода природы участки связи, мы получаем некоторую усредненную в коэффициенте корреляции оценку, как правило, находящуюся на границе достоверности. Обсуждая природу этого фактора, прежде всего имеет смысл обсудить экофизиологический механизм влияния солнечной активности на прирост.

Согласно традиционной точке зрения солнечная активность определяет не только режим верхних слоев атмосферы, но и весь характер тропосферной циркуляции, то есть ее интенсивность и тип. А так как современные изменения климата зависят лишь от колебаний циркуляционного режима, то астрофизической первопричиной современных климатических изменений является солнечная активность (Эйгенсон, 1963; Матвеев, Румянцев, 2013). Общая циркуляция атмосферы трансформирует солнечную активность в цикличность колебаний температуры, неравномерность выпадения осадков, регулярную повторяемость тайфунов, ураганов, гроз. Одним словом, традиционно влияние солнечной активности рассматривается через ее влияние на климат, влияние климата на процессы первичного метаболизма в организме дерева и в конечном итоге на колебания продуктивности древесины от года к году.

Альтернативная точка зрения была предложена российскими исследователями М.Г. Романовским и Р.В. Щекалевым (2009). Они предложили гипотезу о связи колебаний продуктивности с мутационно-репарационными процессами в камбиальной ткани. Чтобы исправить повреждения генома клеткам (ядрам) необходимо делиться, а организму, ткани – расти. Увеличение скорости мутирования требует ускорения репарации и, соответственно, возрастания интенсивности делений и увеличения годичной продукции фитоценозов. При очень сильном давлении мутационного процесса митотическая репарация становится мало эффективной, не справляется с образованием мутаций и прекращается. Продуктивность особей и ценозов резко падает. Клетки, ткани, организмы переходят к минимальной интенсивности делений и общего метаболизма. При делительной активности тканей, инициируемой потребностями митотической репарации, обычные ограничения продуктивности, вероятно, не работают: скорость роста должна точно соответствовать скорости поступления новых мутаций за время клеточного цикла.

Авторы задаются вопросом: «Какова же амплитуда колебаний естественного мутационного фона?». И делают вывод, что основные источники мутационных повреждений – это в том числе потоки высокоэнергетических частиц космических лучей (солнечных и галактических). Крайне важно наблюдение авторов о том, что связи между пятнообразованием на Солнце и колебательными процессами в биосфере локальны, темпоральны и чаще всего прослеживаются на ограниченных отрезках времени, а затем наруша-

ются. Причину этого авторы видят в том, что интенсивность потока космических лучей в зависимости от солнечной активности приобретает нелинейный характер с двумя максимумами: меньшим в области минимальных значений чисел Вольфа и максимальной галактической составляющей, и основным – в области максимальных абсолютных значений чисел Вольфа и минимальных значений, составляющей галактического излучения. Частоту мутаций определяет суммарный поток космических лучей. Космические лучи индуцируют нарушения в геноме. Продуктивность тканей клеточных ансамблей растет. Однако после превышения определенного порога клетки и особи начинают терять способность к репарации, продуктивность дерева сокращается. Характер взаимодействия двух рассматриваемых компонент космического излучения авторы охарактеризовали в виде следующего графика (рис. 7).

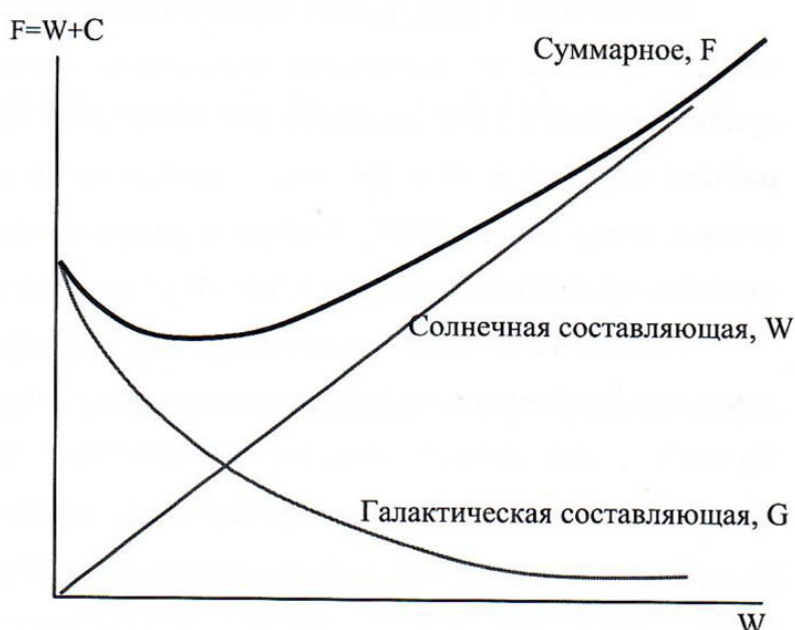


Рисунок 7. Концептуальная модель, объясняющая зависимость интенсивности космического излучения от солнечной активности (Романовский, Щекалев, 2009; стр. 24)

Figure 7. A conceptual model explaining the dependence of the intensity of cosmic radiation on solar activity (Romanovsky, Shchekalyov, 2009; p. 24)

Графики на рис. 7 отражают положение о том, что интенсивность солнечной составляющей космических лучей примерно пропорциональна интенсивности пятнообразования W . Галактическая составляющая G , наоборот максимальна при отсутствии солнечного магнитного поля и вихрей (пятен) в солнечной плазме, т.е. при значениях числа Вольфа близких к нулю.

Таким образом, нами получены результаты не объяснимые в рамках традиционных представлений о характере влияния солнечной активности на прирост. Однако в рамках весьма сложно организованной гипотезы Романовского-Щекалева наши результаты объяснимы в полной мере и служат дополнительным подтверждением справедливости разработанной ими концепции.

Заключение

Современная концепция дендроклиматического моделирования и реконструкции климатов прошлых эпох базируется на двух основных постулатах: принципе актуализма Лайеля в случае дендроклиматологии подразумевающего стационарность климатического сигнала по всей длине хронологии и представления о влиянии климата на прирост через процессы первичного метаболизма в организме дерева. Данные представления безусловно удобны для решения реконструктивистских задач. Однако есть факты, которые заставляют быть более внимательными к безоговорочному принятию данной концепции, в частности как показано в данном исследовании это наличие не климатических компонент изменчивости прироста и нестационарный их характер влияния на динамику прироста.

Список литературы

- Ваганов, Е.А., Шашкин, А.В. (2000) *Рост и структура годичных колец хвойных*, Новосибирск, Наука, 122 с.
- Леви, К.Г., Задонина, Н.В., Язев, С.А., Воронин, В.И. (2012а) *Современная геодинамика и гелиогеодинамика*, Иркутск, Изд-во ИГУ, 539 с.
- Леви, К.Г., Задонина, Н.В., Язев, С.А., Воронин, В.И., Наурзбаев, М.М., Хантемиров, Р.М. (2012б) *Гелиогеодинамика: Природные аспекты глобальных солнечных минимумов*, т. 1, Иркутск, Изд-во ИГУ, 511 с.
- Ловелиус, Н.В. (1979) *Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных явлений*, Л., Наука, 231 с.
- Матвеев, С.М. (2003) *Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной Лесостепи*, Воронеж, ВГУ, 269 с.
- Матвеев, С.М., Румянцев, Д.Е. (2013) *Дендрохронология*, Воронеж, ВГЛТА, 139 с.
- Матвеев, С.М. (2014) Цикличность в динамике радиального прироста естественных и искусственных сосновых древостоев в борах Центральной лесостепи, *Вестник Московского государственного университета леса*, № 5(18), с. 110-116.
- Романовский М.Г. (1992) Перспективы моделирования динамики годичного прироста древесных растений как функции абиотических факторов, *Научн. тр. МЛТИ*, вып. 256, с. 72-74.
- Романовский, М.Г., Щекалев, Р.В. (2009) *Лес и климат Центральной полосы России*, Архангельск, Правда Севера, 110 с.
- Румянцев, Д.Е. (2010) *История и методология лесоводственной дендрохронологии*, М., МГУЛеса, 109 с.
- Румянцев (2011). *Потенциал использования дендрохронологической информации в лесной науке и практике*, дис. ... д-ра биол. наук, М., МГУЛ, 354 с.
-

Румянцев, Д.Е., Черакшев, А.В., Ряхина, К.Н. (2018) *Космические факторы и уход за деревьями в урбанизированной среде, Сборник материалов общероссийской научно-практической конференции «Взгляд молодых исследователей: лесной комплекс, экономика и управление»*, М., МФ МГТУ, с. 130-131.

Чижевский, А.Л. (1976) *Земное эхо солнечных бурь*, М., Мысль, 367 с.

Шведов, Ф.Н. (1972) *Дерево как летопись засух (1892 по 1972), Материалы Второго Всесоюзного совещания по дендрохронологии и дендроклиматологии «Дендроклиматохронология и радиоуглерод»*, Каунас, Ин-т ботаники АН СССР, с.17-26.

Эйгенсон, М.С. (1963) *Солнце, погода и климат*, Л., Гидрометеиздат, 274 с.

Douglass, A.E. (1919) *Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity*, Washington, Carnegie Institution, 127 p.

Fritts, H.C. (1976) *Tree rings and climate*, London, New York, San Francisco, Academic press, 576 p.

Matveev, S.M., Chendev, Yu.G., Lupo, A.R., Hubbart, J.A., Timashchuk, D.A. (2017) Climatic changes in the East-European forest-steppe and effects on Scots pine productivity, *Pure and Applied Geophysics*, vol. 174, no. 1, pp. 427-443, doi: 10.1007/s00024-016-1420-y.

Vorobyeva, N.S., Rumyantsev, D.E., Melikhova, M.A. (2022) 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*, no. 2 (22), pp. 1-6, doi: 10.23649/jae.2022.2.22.02.

References

Vaganov, E.A., Shashkin, A.V. (2000) *Rost i struktura godichnyh kolec hvojnyh* [Growth and structure of annual rings of conifers], Nauka, Novosibirsk, Russia, 122 p.

Levi, K.G., Zadonina, N.V., Yazev, S.A., Voronin, V.I. (2012a) *Sovremennaya geodinamika i geliogeodinamika* [Modern geodynamics and heliogeodynamics], Irkutsk, Russia, 539 p.

Levi, K.G., Zadonina, N.V., Yazev, S.A., Voronin, V.I., Naurzbaev, M.M., Hantemirov, R.M. (2012b) *Geliogeodinamika: Prirodnye aspekty global'nyh solnechnykh minimumov* [Heliogeodynamics: Natural aspects of global solar minima], vol. 1, Irkutsk, Russia, 511 p.

Lovelius, N.V. (1979) *Izmenchivost' prirosta derev'ev. Dendroindikaciya prirodnih processov i antropogennyh yavlenij* [Variability of tree growth. Dendroindication of natural processes and anthropogenic phenomena], Nauka, Leningrad, Russia, 231 p.

Matveev, S.M. (2003) *Dendroindikaciya dinamiki sostoyaniya sosnovykh nasazhdenij Central'noj Lesostepi* [Dendroindication of the dynamics of the state of pine plantations in the Central Forest-steppe], Voronezh, Russia, 269 p.

Matveev, S.M., Rumyanцев, D.E. (2013) *Dendrohronologiya* [Dendrochronology], Voronezh, Russia, 139 p.

Matveev, S.M. (2014) *Ciklichnost' v dinamike radial'nogo prirosta estestvennykh i iskusstvennykh sosnovykh drevostoev v borah central'noj lesostepi* [Cyclicality in the dynamics of radial growth of natural and artificial pine stands in the forests of the Central forest-steppe], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa*, no. 5(18), pp. 110-116.

Romanovskij, M.G. (1992) *Perspektivy modelirovaniya dinamiki godichnogo prirosta drevesnykh rastenij kak funkcii abioticheskikh faktorov* [Prospects for modeling the dynamics of annual growth of woody plants as a function of abiotic factors], *Nauchn. tr. MLTI*, issue 256, pp. 72-74

Romanovskij, M.G., Shchekalev, R.V. (2009) *Les i klimat Central'noj polosy Rossii* [Forest and climate of Central Russia], Pravda Severa, Arhangel'sk, Russia, 110 p.

Rumyanцев, D.E. (2010) *Istoriya i metodologiya lesovodstvennoj dendrohronologii* [History and methodology of forestry dendrochronology], Moscow, Russia, 109 p.

Rumyanцев, D.E. (2011) *Potencial ispol'zovaniya dendrohronologicheskoy informacii v lesnoj nauke i praktike* [The potential of using dendrochronological information in forest science and practice], Doctor's thesis, Moscow, Russia, 354 p.

Rumyanцев, D.E., Cherakshev, A.V., Ryahina, K.N. (2018) *Kosmicheskie faktory i uhod za derev'yami v urbanizirovannoj srede* [Space factors and tree care in an urbanized environment], *Sbornik materialov obshcherossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Vzglyad molodykh issledovatelej: lesnoj kompleks, ekonomika i upravlenie»* [Collection of materials of the all-Russian scientific-practical conference "The view of young researchers: the forest complex, economics and management"], Moscow, Russia, p. 130-131.

Chizhevskij, A.L. (1976) *Zemnoe ekho solnechnykh bur'* [Earth's echo of solar storms], Moscow, Russia, 367 p.

Shvedov, F.N. (1972) *Derevo kak letopis' zasuh (1892 po 1972)* [The tree as a chronicle of droughts (1892 to 1972)], *Materialy Vtorogo Vsesoyuznogo soveshchaniya po dendrohronologii i dendroklimatologii «Dendroklimatohronologiya i radiouglerod»* [Proceedings of the Second All-Union Conference on Dendrochronology and Dendroclimatology "Dendroclimatochronology and Radio-carbon"], Institute of Botany of the Academy of Sciences of the USSR, Kaunas, USSR, pp. 17-26.

Ejgenson, M.S. (1963) *Solnce, pogoda i klimat* [Sun, weather and climate], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 274 p.

Douglass, A.E. (1919) *Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity*, Washington, Carnegie institution, 127 p.

Fritts, H.C. (1976) *Tree rings and climate*, London, New York, San Francisco, Academic press, 576 p.

Matveev, S.M., Chendev, Yu.G., Lupo, A.R., Hubbart, J.A., Timashchuk, D.A. (2017) Climatic changes in the East-European forest-steppe and effects on Scots pine productivity, *Pure and Applied Geophysics*, vol. 174, no. 1, pp. 427-443, doi: 10.1007/s00024-016-1420-y.

Vorobyeva, N.S., Rumyantsev, D.E., Melikhova, M.A. (2022) 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*, no. 2 (22), pp. 1-6, doi: 10.23649/jae.2022.2.22.02.

Поступила в редакцию: 27.08.2022.

Доработана после рецензирования: 04.04.2023.

Для цитирования / For citation:

Румянцев, Д.Е. Воробьева, Н.С. (2023) Влияние солнечной активности на рост осины в условиях мордовского заповедника, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXIV, № 1-2, с. 128-142, doi: 10.21513/0207-2564-2023-1-2-128-142.

Rumyantsev, D.E., Vorobieva, N.S. (2023) Influence of solar activity on aspen growth in the conditions of the mordovian nature reserve, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXIV, no. 1-2, pp. 128-142, doi: 10.21513/0207-2564-2023-1-2-128-142.