

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.58 + 58.03

**Взаимосвязь солнечной активности,
климатических индексов и осадков мая–июля,
реконструированных на основе анализа радиального
прироста лиственницы на Южном Урале**

Д.Ю. Васильев¹, С.Е. Кучеров², В.В. Лазарев^{1*}

¹ Уфимский государственный авиационный технический университет
450008, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12, корп. 1

² Ботанический сад-институт Уфимского НЦ РАН
450080, г. Уфа, ул. Менделеева, 195, корп. 3

Поступила в редакцию 24.12.2015 г.

Для территории Южного Урала методом вейвлет-анализа исследованы осадки мая–июля, реконструированные по радиальному приросту поздней древесины лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.). Эти данные в дальнейшем были проанализированы методом кросс-вейвлет-преобразования путем сравнения со среднегодовыми значениями чисел Вольфа, а также со средними значениями индексов САК и АМК (Североатлантическое колебание и Атлантическое мультидекадное колебание) за аналогичный период. Проведенный анализ позволил выявить скрытые периодичности в исходных рядах и определить взаимосвязи осадков мая–июля с солнечной активностью, а также с САК и АМК. Установлено, что доминирующий 11-летний цикл в рядах чисел Вольфа присутствует практически на всем временном диапазоне реконструкции осадков. В серии реконструкции осадков проявление индекса САК за май–июль присутствует в основном на периодах 8–11 лет, а индекса АМК за май–июль на периодах от 11 до 50 лет. Для анализа использовались следующие периоды наблюдений: реконструкция осадков мая–июля за 375 лет (1631–2005 гг.), числа Вольфа за 306 лет (1700–2005 гг.), САК за 141 год (1865–2005 гг.), АМК за 150 лет (1856–2005 гг.).

Ключевые слова: вейвлет-анализ, кросс-вейвлет-анализ, Фурье-анализ, климатические индексы, реконструкция осадков, дендрохронологические исследования, корреляционный анализ; wavelet transform, cross wavelet transform, Fourier transformation, climate indices, reconstruction of precipitation, dendrochronological research, correlation analysis.

Введение

Изучение климата планеты является важной научной задачей. Давно признано, что определяющее влияние на климат Земли оказывает Солнце. Поэтому неудивительно, что многие исследователи в разное время пытались найти корреляции различных метеоданных с фазами солнечной активности [1–4]. Эта проблема не потеряла актуальности и в настоящее время. В целом следует отметить, что изучению связи изменчивости солнечной активности с различными климатическими процессами посвящено большое количество работ [5–11]. В одной из них, например, было выявлено [11] высокое совпадение пиков солнечных пятен с фазами колебаний Эль-Ниньо/Ла-Нинья. Позже эта же группа [12] привела результаты исследования аномалий с положительными и отрицательными температурами и количеством осадков декабря–февраля и их распределения по земной поверхности во время пиков солнечной активности. Обнаружена

также высокая связь годовых колебаний приповерхностной температуры Атлантического, Тихого и Индийского океанов с солнечной активностью [13].

Другим важным фактором, играющим большую роль в перераспределении и характере осадков Европы, является Атлантическое мультидекадное колебание (АМК), представляющее собой долгопериодное изменение приповерхностной температуры северной части Атлантического океана [14]. Предполагается, что возможные причины жаркого лета на Североамериканском и Европейском континентах связаны с длительными изменениями термохалинной циркуляции Атлантического океана [15]. Было проведено моделирование индекса АМК и выявлены основные циклы в колебаниях этого индекса [16]. Анализ активности ураганов за последние 270 лет [17] позволил установить связь с индексом АМК.

Не менее важным фактором, определяющим климат Европы и прилегающих территорий, является Североатлантическое колебание (САК). Анализ зимних осадков в Северной Атлантике и Европе [18], а также в Центральной Европе [19] позволил установить высокую степень связи с САК. На основе инструментальных данных по САК [20, 21] в последние десятилетия установлен «дипольный характер»

* Денис Юрьевич Васильев (vasilevdy@ugatu.su); Сергей Евгеньевич Кучеров (skuchеров@anrb.ru); Владимир Валентинович Лазарев (lvlad@inbox.ru).

влияния САК на режим зимних осадков Европы, когда засушливые периоды в Южной Европе сопровождались влажным периодом в Северной Европе. Недавно [22] также проведен сравнительный анализ циклонической активности при различных комбинациях положительных и отрицательных значений индексов САК и Восточно-Атлантического колебания.

Ввиду того что прямые наблюдения за погодными условиями (температура, осадки и давление) в основном не превышают 100 лет, важное значение в исследовании динамики климата имеют косвенные методы, например изучение слоистых структур (ледяные керны, морские и озерные отложения и годовичные слои деревьев), которые позволяют проводить длительные реконструкции климатических параметров. Благодаря этим методам стало возможным проведение реконструкции индексов температуры (SAT – surface air temperature) и приповерхностного давления (SLP – sea level pressure) для Северо-Атлантического региона с 1650 г. [23]. Анализ годовичных слоев деревьев, морских и озерных отложений и ледяных кернов позволил выполнить реконструкцию температуры Северного полушария [24, 25]. Более того, анализ на основе изучения колец деревьев (по изотопу ^{14}C) и ледяных кернов (изотоп ^{10}Be) способствовал реконструкции космического излучения и солнечной активности за последние 9400 лет [26].

В отличие от данных температуры воздуха, период инструментальных наблюдений атмосферных осадков значительно короче. Поэтому за последнее время возросло число работ, посвященных реконструкциям осадков и засух [27–31]. Насколько нам известно, в регионе нашего исследования (Южный Урал, Россия) были выполнены только две работы по реконструкции летних осадков [32, 33]. В настоящей статье методом вейвлет-преобразования были проанализированы серии реконструкций осадков мая–июля за последние 375 лет, взятых из [32], годовые индексы САК и АМК примерно за 140 лет (май–июль) с 1865 по 2005 г. и среднегодовые значения чисел Вольфа за 305 лет (1700–2005 гг.). Основными задачами данного исследования были выявление периодичности во временных рядах и установление взаимосвязи осадков, солнечной активности и индексов САК и АМК.

Исследуемая территория и используемые данные

Образцы древесины лиственницы для проведения реконструкции летних осадков были взяты на двух участках: 1) пл. 1 – $52^{\circ}20,2'$ с.ш., $57^{\circ}12'$ в.д. и пл. 2 – $52^{\circ}20,2'$ с.ш., $57^{\circ}14'$ в.д.; и 2) пл. 3 – $52^{\circ}8,5'$ с.ш., $57^{\circ}24'$ в.д. Оба участка удалены друг от друга на расстояние 25 км (рис. 1).

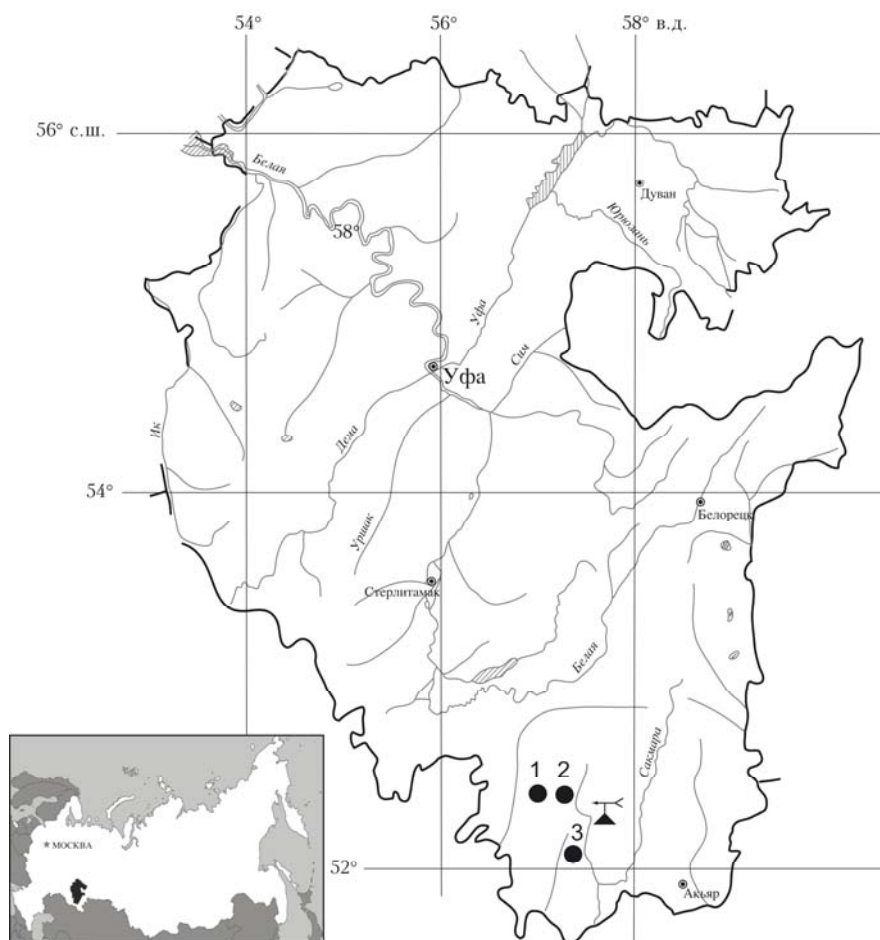


Рис. 1. Расположение пунктов на территории Башкирии, в которых были взяты образцы для дендроклиматического анализа, и метеорологической станции г. Зилаир

На первом участке произрастают в основном широколиственные леса с доминированием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и липы (*Tilia cordata* Mill.). На пл. 1 лиственница произрастает в зоне контакта леса и луговой степи. На пл. 2 лиственницы растут на степном участке на кромке обрыва к долине р. Большая Сурень. Второй участок расположен в районе сосново-лиственничных лесов центральной части Зилаирского плато. Лиственница здесь произрастает совместно с сосной (*Pinus sylvestris* L.) наряду с участием мелколиственных видов (*Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L.).

Преобладающий возраст лиственницы на обоих участках 100–150 лет, но встречаются отдельные деревья возрастом 300–450 лет. Рельеф обоих участков представляет собой плато высотой около 500–550 м над уровнем моря, в которое врезаны глубокие долины рек Большой Сурень и Зилаир. На территории участков доминируют маломощные горные серые и темно-серые лесные почвы, сформировавшиеся на глинисто-песчаных сланцевых породах [34]. Климат континентальный, недостаточно увлажненный. Самый холодный месяц – январь со средней температурой воздуха $-14,6$ °С и с абсолютным минимумом -47 °С. Самый жаркий месяц – июль со средней температурой воздуха $+17,8$ °С, с абсолютным максимумом $+40,1$ °С. За холодный сезон (ноябрь–март) выпадает в среднем 200 мм, за теплый (май–сентябрь) – 250 мм осадков. Среднегодовая сумма осадков составляет 550 мм. Летом нередки засухи. Реконструкция осадков мая–июля была основана на выявленной высокой связи прироста поздней древесины лиственницы с осадками мая, июня и июля (рис. 2) [32].

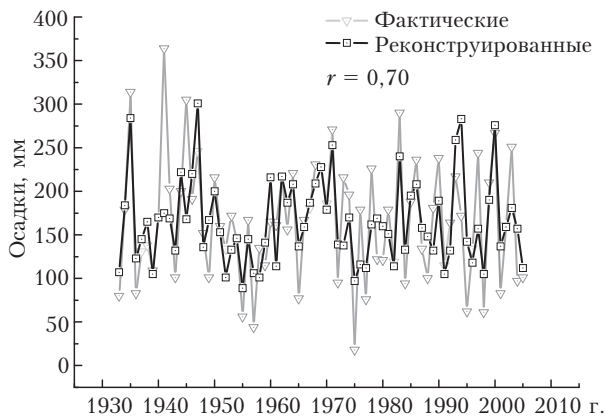


Рис. 2. Данные инструментальных наблюдений осадков мая–июля с метеорологической станции г. Зилаир (серые треугольники) и данные по реконструкции (черные квадраты) за аналогичные месяцы для центральной части Зилаирского плато с 1933 по 2005 г. r – коэффициент линейной корреляции Пирсона

Источник данных солнечной активности, используемых в работе, – Solar Influences Data Analysis Center (<http://sidc.oma.be/sunspot-data/>) с периодом наблюдений 1700–2005 гг., данных индексов АМК (1865–2005 гг.) и САК (1865–2005 гг.) – Cli-

mate Data Guide (<http://climatedataguide.ucar.edu>). Описание методики конструирования рядов АМК и САК представлено в работах [20, 21] и [35].

Методы

Анализ реконструированных рядов осадков, а также чисел Вольфа и индексов САК и АМК проведен методом вейвлет-преобразования (ВП), появлением и первоначальным развитием которого мы обязаны пионерским работам [36, 37]. Метод ВП хорошо зарекомендовал себя при анализе различных нестационарных сигналов [38–40]. С недавнего времени этот метод начал широко использоваться в дендрохронологии при анализе как радиальных приростов, так и реконструированных по ним атмосферных осадков [41–43]. В настоящей работе использовалось непрерывное ВП (НВП), а в качестве анализирующей материнской функции был взят вейвлет Морле (Morlet) [44].

В соответствии с теорией ВП коэффициенты непрерывного временного сигнала $x(t)$ определялись как

$$C_x(s, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\psi_{s,\tau}^*(t)dt, \quad (1)$$

где $\psi_{s,\tau}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$. Параметр s в (1) определяет масштаб, а параметр τ задает временную локализацию вейвлета и отвечает за сдвиг. Из-за неполной локализации вейвлета во времени в методе НВП могут возникать «краевые» эффекты [45]. Поэтому обычно рассматривается конус влияния, в котором «краевые» эффекты не могут быть игнорированы. Проверка значимости осуществляется по соотношению анализируемого сигнала и красного шума в пределах 95%-го доверительного интервала (детали в [46]).

Для установления корреляции двух серий данных в настоящей работе использовался метод кросс-вейвлет-преобразования (КВП). Две временные серии X и Y и их вейвлет-преобразования $W_n^X(s)$ и $W_n^Y(s)$ связаны в методе КВП следующим образом [47]:

$$W_n^{XY}(s) = W_n^X(s)W_n^{Y*}(s). \quad (2)$$

Символом $*$ в (1) и (2) обозначено комплексное сопряжение. Полученная таким образом мощность КВП $W_n^{XY}(s)$ фактически определяет когерентность между двумя анализируемыми временными сериями как функцию периода сигнала и его временной эволюции с 95%-м доверительным уровнем.

Результаты и обсуждения

Результаты вейвлет-анализа отображены на рис. 3. На глобальном спектре мощности реконструкции осадков (рис. 3, а) наиболее отчетливо проявились пики на периодах 11,1 и 22,6 года.

Еще один пик с периодом от 2 до 4 лет (2,4 года на рис. 3, *а*) локализован на различных временных интервалах 1663–1665, 1687–1700, 1710–1715, 1740–1753, 1757–1762, 1775–1787, 1813–1818, 1840–1860, 1860–1911, 1915–1975 и 1977–2005 гг. Несмотря на то что вклад других составляющих анализируемого сигнала в спектре мощности значительно меньше, из результатов вейвлет-анализа можно выделить и другие периодичности: 4–8 лет на интервалах 1631–1650, 1705–1713, 1796–1804, 1820–1848, 1879–1889, 1925–1941, 1986–2002 гг.; 8–16 лет на интервалах 1631–1650, 1700–1724, 1834–1850, 1870–1890 и 1980–2005 гг.; 16–32 года на интервалах 1710–1754, 1939–1998; 32–64 года на временном интервале 1860–1960 гг.

Для последующего применения КВП методом НВП были проанализированы также данные солнечной активности, АМК и САК (оба за май–июль). На рис. 3, *б* представлены результаты вейвлет-

лет-анализа чисел Вольфа. В исходном сигнале чисел Вольфа было установлено доминирование 11-летнего периода, наиболее явно локализованного на временных интервалах с 1710 по 1752 г., а также для 1761–1784, 1830–1915 и 1936–2005 гг.

Аналогичный анализ временных серий индекса АМК за май–июль (рис. 3, *в*) выявил статистически значимые периоды от 2 до 4 лет на интервалах 1856–1866, 1866–1881, 1884–1899, 1899–1920, 1939–1952, 1953–1961, 1967–1975, 1979–1983 и 1991–2005 гг. Циклы от 4 до 8 лет установлены для 1911–1921, 1925–1939 и 1945–1956 гг., а от 8 до 16 лет для 1880–1901, 1906–1913 и 1983–1997 гг. Циклы с периодами 16–32 и 32–64 года хотя и найдены, но являются статистически незначимыми. Наиболее мощным оказался период в 50,2 года при анализе временного домена на интервале от 64 до 128 лет, который особенно отчетливо проявился с 1911 по 1961 г. (рис. 3, *в*).

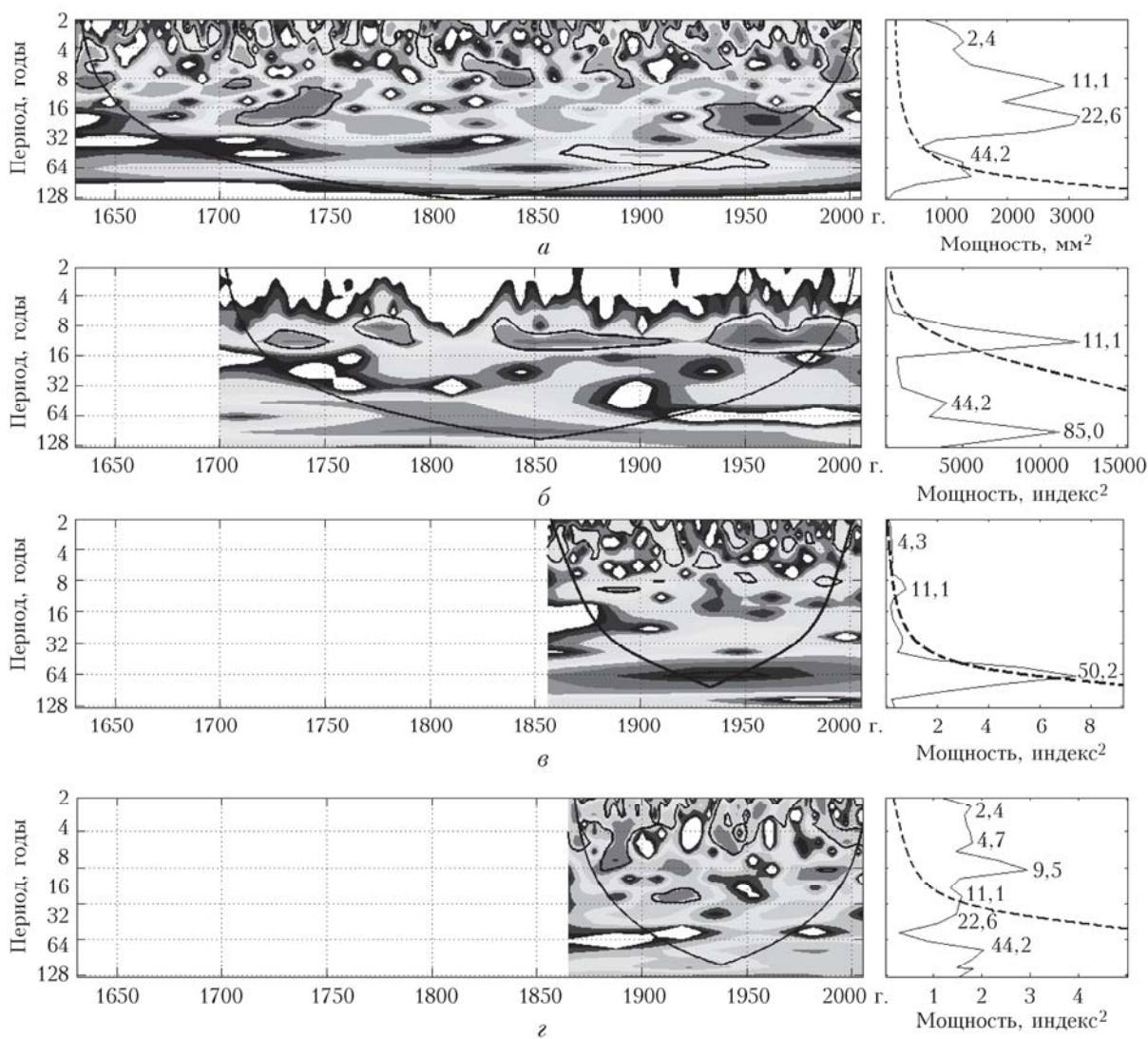


Рис. 3. Результаты вейвлет-анализа: *а* – данные реконструкции; *б* – числа Вольфа; *в* – АМК (май–июль); *г* – САК (май–июль)

В ряду индекса САК за май–июль (рис. 3, *з*) периоды от 2 до 4 лет проявились на временных интервалах 1865–1870, 1875–1900, 1905–1935, 1955–1970, 1975–2005 гг.; от 4 до 8 лет – на интервалах 1870–1910, 1930–1938, 1950–1974 гг.; от 8 до 16 лет – 1915–1926 гг. Аналогично анализу АМК, циклы от 16 до 32 лет (в интервале 1935–1957 гг.) и от 32 до 64 лет (1910–1960 гг.) были найдены, но оказались статистически незначимыми. Оценка даты завершения последнего периода усложняется ограниченностью самого временного ряда [47].

На рис. 4 представлена реконструкция осадков мая–июля, сглаженная 50-летним сплайном [32]. Сопоставление сглаженной кривой с результатами вейвлет-анализа показало, что 11-летние циклы в ряду реконструкции осадков мая–июля (рис. 3, *а*) на интервалах 1631–1650, 1834–1850, 1871–1892, 1980–2005 гг. соответствуют ветвям подъема от минимума до максимума на сглаженной кривой реконструкции количества осадков мая–июля (рис. 4). Напротив, 22-летние циклы на интервалах 1710–1754, 1939–1998 гг. соответствуют ветвям спада от максимума до минимума на сглаженной кривой реконструкции количества осадков мая–июля.

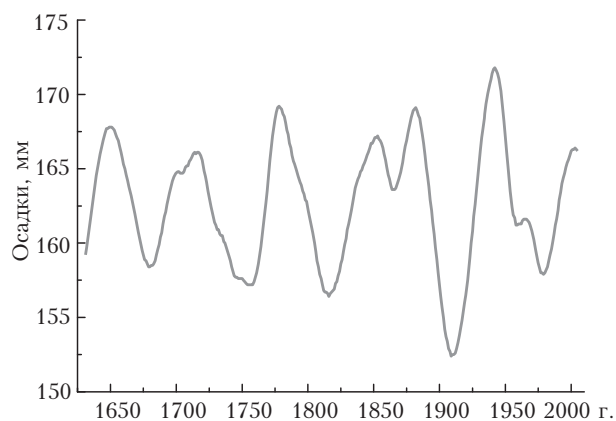


Рис. 4. Реконструкция осадков мая–июля с 1631 по 2005 г. Кривая получена сглаживанием ряда погодичной динамики 50-летним сплайном

Для установления корреляции реконструированных данных осадков с числами Вольфа и колебаниями АМК и САК (оба за май–июль) в данной работе был проведен анализ методом КВП. В результате применения процедуры КВП к реконструкции осадков и солнечной активности (рис. 5, *а*) была выявлена когерентность для периодичностей 8–16 лет на временных интервалах 1700–1780, 1785–1805 и 1810–2005 гг. Отметим, что для временных интервалов 1700–1780 гг. с 1700 по 1710 г. характер колебаний противофазный, с 1710 по 1720 г. переходный от противофазного к синфазному, с 1720 по 1760 г. синфазный, с 1760 по 1785 г. переходный, с 1785 по 1840 г. синфазный. На интервале 1840–2005 гг. с 1840 по 1870 г. переходный характер, с 1870 по 1980 гг. синфазный, с 1980 по 1990 г. переходный, с 1990 по 2005 г. синфазный.

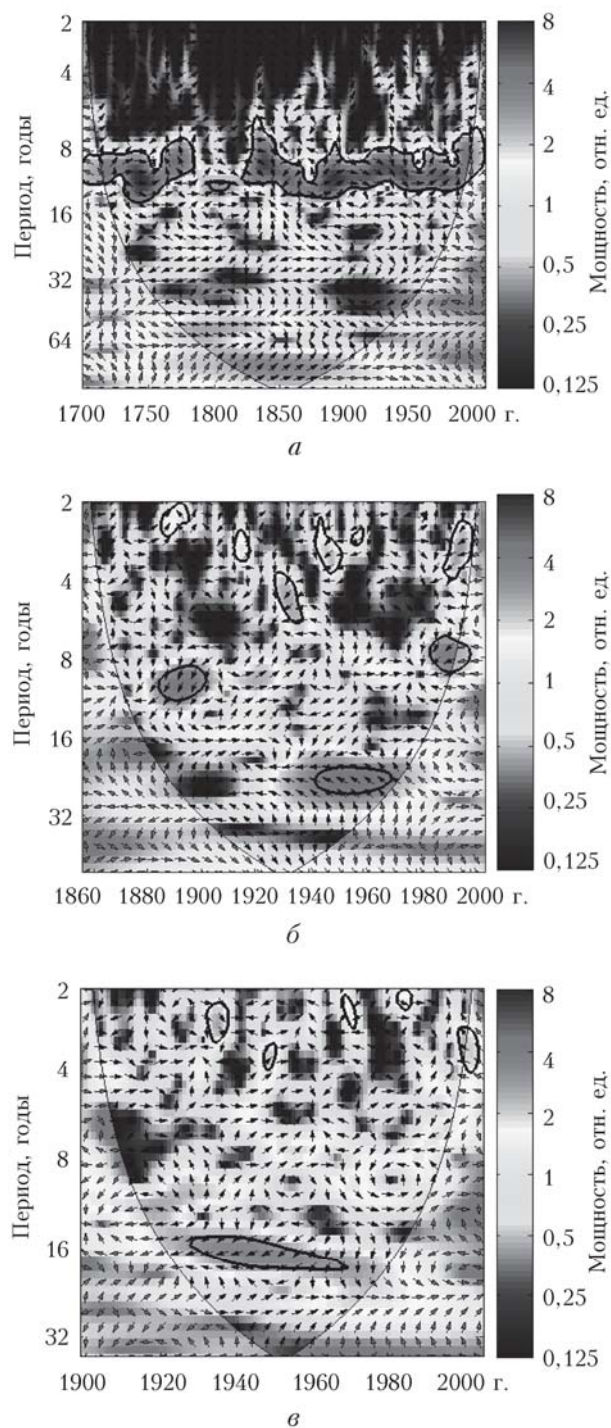


Рис. 5. Результаты кросс-вейвлет-анализа: *а* – реконструированные осадки и числа Вольфа; *б* – реконструированные осадки и АМК (май–июль); *в* – реконструированные осадки и САК (май–июль). Направление векторов определяет тип когерентности (вправо – синфазно, влево – противофазно)

На рис. 5, *б* показан кросс-вейвлет-анализ реконструкции осадков и годовых значений индекса АМК за май–июль, в которых когерентность колебаний наблюдается на периодах 2–4 года, с 1884 по 1895 г. синфазное, 1912–1917, 1942–1953,

1956–1960 и 1992–2001 гг. противофазное. На периодах от 4 до 8 лет – с 1927 по 1938 г. противофазное; на периодах 8–16 лет – с 1884 по 1902 г. и с 1985 по 2000 г. противофазное; на периодах от 16 до 32 лет – с 1942 по 1971 г. противофазное.

Рис. 5, в демонстрирует кросс-вейвлет-анализ реконструкции осадков и годовых значений индекса САК за май–июль. Установлена когерентность в осцилляциях на интервалах от 2 до 4 лет – с 1937 по 1940 г. противофазная, с 1948 по 1950 г. и с 1971 по 1973 г. переходная, с 1987 по 1989 г. синфазная, с 2000 по 2004 г. противофазная; на периодах 16–32 года – с 1926 по 1970 г. характер колебаний противофазный с изменением в конце интервала на переходный. Как видно, взаимосвязь между числами Вольфа и осадками мая–июля на периодах около 11 лет на всем интервале высокая с чередованием синфазных и противофазных участков. Такой переменчивый характер этой взаимосвязи, очевидно, связан со сложным характером связи Солнца, земной поверхности и атмосферы.

Выяснение причин разности в фазах колебаний требует дальнейших исследований с привлечением, возможно, других климатических индексов.

Заключение

Применение метода вейвлет-анализа для ряда реконструкции осадков мая–июля позволило выявить следующие группы периодов: высокочастотные 2–4 года, среднечастотные 4–8 лет, низкочастотные 8–16, 16–32 и 32–64 года. В данных солнечной активности выявлены только периоды в интервале 8–16 лет. В рядах индекса САК за май–июль статистически значимыми являются только периоды на интервалах 2–4, 4–8 и 8–16 лет. В рядах индекса АМК за май–июль статистически значимыми являются периоды 2–4, 4–8, 8–16 лет, а также период около 50 лет. Выявленные в данной работе периоды в рядах индексов САК и чисел Вольфа совпадают с результатами других исследований [48, 49].

Процедура кросс-вейвлет-анализа позволила установить когерентность реконструированных осадков мая–июля с числами Вольфа на всем интервале данных с небольшим разрывом в начале XIX в., относящимся к концу «малого ледникового периода». С рядами индекса САК за год когерентность осадков проявилась на интервалах 2–4 и 4–8 лет, в то время как с индексом САК за май–июль наибольшая когерентность наблюдается на периодах около 16 лет. Когерентность с индексом АМК за май–июль установлена на периодах 2–4, 4–8 лет, наиболее сильно на интервалах 8–16 и 16–32 года.

Авторы выражают искреннюю признательность профессору С.Г. Шиятову за любезно предоставленную часть использованных в анализе образцов древесины и полезные советы на начальном этапе работы.

1. Бардин М.Ю. Изменчивость температуры воздуха над западными территориями России и сопредельными странами в XX веке // Метеорол. и гидрол. 2002. № 8. С. 5–23.
2. Егоров А.Г. Солнечный цикл и многолетние изменения средней тропосферы Арктики в зимний период // Докл. АН. 2014. Т. 459, № 1. С. 112–117.
3. Груза Г.В., Равькова Э.Я. Колебания климата на территории России // Известия РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2003. Т. 39, № 2. С. 166–187.
4. Тартаковский В.А. Синхронный анализ рядов чисел Вольфа и температуры с метеостанций Северного полушария Земли // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 2. С. 182–188.
5. Вакуленко Н.В., Сонечкин Д.М. Свидетельство влияния солнечной активности на Эль-Ниньо – Южное колебание // Океанология. 2011. Т. 51, № 6. С. 994–999.
6. Васильев Д.Ю., Ферантов Ю.И. Тренды в колебаниях приземной температуры воздуха на примере Башкирии // Известия РАН. Сер. геогр. 2015. № 1. С. 77–86.
7. Даценко Н.М., Сонечкин Д.М. О надежности тысячелетних реконструкций хода приземной температуры воздуха Северного полушария // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2008. Т. 44, № 6. С. 797–803.
8. Монин А.С., Сонечкин Д.М. Колебания климата по данным наблюдений. Тройной солнечный и другие циклы. М.: Наука, 2005. 191 с.
9. Мохов И.И., Смирнов Д.А., Карпенко А.А. Оценки связи изменений глобальной приповерхностной температуры с разными естественными и антропогенными факторами на основе данных наблюдений // Докл. АН. 2012. Т. 443, № 2. С. 225–231.
10. Мохов И.И., Безверхний В.А., Елисеев А.В., Карпенко А.А. Модельные оценки возможных климатических изменений в XXI веке при различных сценариях солнечной и вулканической активности и антропогенных воздействий // Косм. исслед. 2008. Т. 46, № 4. С. 363–367.
11. Meehl G.A., Arblaster J.M., Branstator G., van Loon H. A coupled air-sea response mechanism to solar forcing in the Pacific region // J. Climate. 2008. V. 21. P. 2883–2897. DOI:10.1175/2007JCLI1776.1.
12. Meehl G.A., Arblaster J.M., Matthes K., Sassi F., van Loon H. Amplifying the Pacific climate system response to a small 11 year solar cycle forcing // Science. 2009. V. 325. P. 1114–1118. DOI:10.1126/science.1172872.
13. White W.B., Lean J., Cayan D.R., Dettinger D.W. Response of global upper ocean temperature to changing solar irradiance // J. Geophys. Res. C. 1997. V. 102, iss. 2. P. 3255–3266. DOI:10.1029/96JC03549.
14. Wang B., Liu J., Kim H.-J., Webster P.J., Yim S.-Y., Xiang B. Northern Hemisphere summer monsoon intensified by mega-El Niño/Southern oscillation and Atlantic multidecadal oscillation // Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 2013. V. 110, № 14. P. 5347–5352. DOI: 10.1073/pnas.1219405110.
15. Sutton R.T., Hodson D.L.R. Atlantic ocean forcing of North American and European summer climate // Science. 2005. V. 309, N 5731. P. 115–118.
16. Wei W., Lohmann G. Simulated Atlantic Multidecadal Oscillation during the Holocene // J. Climate. 2012. V. 25. P. 6989–7002. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00667.1.
17. Nyberg J., Malgrem B.A., Winter A., Jury M.R., Kilbourn K.H., Quinn T.M. Low Atlantic hurricane activity in the 1970s and 1980s compared to the past

- 270 years // *Nature*. 2007. V. 447. P. 697–701. DOI: 10.1038/nature05895.
18. *Qian B., Corte-Real J., Xu H.* Is the North Atlantic Oscillation the most important atmospheric pattern for precipitation in Europe? // *J. Geophys. Res. D*. 2000. V. 105, iss. 9. P. 11901–11910.
 19. *Bice D., Montanari A., Vučetić V., Vučetić M.* The influence of regional and global climatic oscillations on Croatian climate // *Int. J. Climatol.* 2012. V. 32. P. 1537–1557. DOI: 10.1002/joc.2372.
 20. *Hurrell J.W.* Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation // *Science*. 1995. V. 269, N 4. P. 676–679.
 21. *Hurrell J.W., van Loon H.* Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation // *Clim. Change*. 1997. V. 36. P. 301–326.
 22. *Вязлова Н.А.* Об экстремальной циклонической активности в Северной Атлантике // *Метеорол. и гидрол.* 2012. № 11. С. 5–17.
 23. *D'Arrigo R.D., Cook E.R., Mann M.E., Jacoby G.C.* Tree-ring reconstructions of temperature and sea-level pressure variability associated with the warm-season Arctic Oscillation since AD 1650 // *Geophys. Res. Lett.* 2003. V. 30, N 11. P. 1549. DOI: 10.1029/2003GL017250.
 24. *Briffa K.R., Osborn T.J.* Climate warming: Seeing the Wood from the Trees // *Science*. 1999. V. 284, N 5416. P. 926–927.
 25. *Overpeck J., Hughen K., Hardy D., Bradley R., Case R., Douglas M., Finney B., Gajewski K., Jacoby G., Jennings A., Lamoureux S., Lasca A., MacDonald G., Moore J., Retelle M., Smith S., Wolfe A., Zielinski G.* Arctic Environmental Change of the Last Four Centuries // *Science*. 1997. V. 278, N 5341. P. 1251–1256.
 26. *Steinhilber F., Abreu J.A., Beera J., Brunner I., Christlb M., Fischer H., Heikkilä U., Kubik P.W., Mann M., McCracken K.G., Miller H., Miyahara H., Oerter H., Wilhelms F.* 9.400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings // *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 2012. V. 109. P. 5967–5971. DOI: 10.1073/pnas.1118965109.
 27. *Chen Z., Zhang X., Cui M., He X., Ding W., Peng J.* Tree-ring based precipitation reconstruction for the forest–steppe ecotone in northern Inner Mongolia, China and its linkages to the Pacific Ocean variability // *Global and Planetary Change*. 2012. V. 86–87. P. 45–56. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2012.01.009.
 28. *Fang K., Gou X., Chen F., Liu C., Davi N., Li J., Zhao Z., Li Y.* Tree-ring based reconstruction of drought variability (1615–2009) in the Kongtong Mountain area, northern China // *Global Planet. Change*. 2012. V. 80–81. P. 190–197. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2011.10.009.
 29. *Griffin D., Stahle D.W., Faulstich H.L., Carrillo C., Touchan R., Castro C.L., Leavitt S.W.* North American monsoon precipitation reconstructed from tree-ring latewood // *Geophys. Res. Lett.* 2013. V. 40, N 5. P. 954–958. DOI: 10.1002/grl.50184.
 30. *Morales M.S., Christie D.A., Villalba R., Argollo J., Pacajes J., Silva J.S., Alvarez C.A., Llançabure J.C., Soliz C.* Precipitation changes in the South American Altiplano since 1300AD reconstructed by tree-rings // *Clim. Past Discuss.* 2011. V. 7. P. 4297–4334. DOI: 10.5194/cpd-7-4297-2011.
 31. *Qin C., Yang B., Brauning A., Sonechkin D.M., Huang K.* Regional extreme climate events on the northeastern Tibetan Plateau since AD 1450 inferred from tree rings // *Global Planet. Change*. 2011. V. 75, iss. 3–4. P. 143–154. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2010.10.013.
 32. *Кучеров С.Е.* Реконструкция летних осадков на Южном Урале за последние 375 лет на основе анализа радиального прироста лиственницы Сукачева // *Экология*. 2010. № 4. С. 248–256.
 33. *Кучеров С.Е., Васильев Д.Ю., Мулдашев А.А.* Реконструкция осадков мая–июня по радиальному приросту сосны обыкновенной на Бугульминско-Белебеевской возвышенности для территории Башкирии // *Экология*. 2016. № 2. С. 83–93.
 34. *Крашенинников И.М., Кучеровская-Рожанец С.Е.* Природные ресурсы Башкирской АССР. Т. 1. Растительность Башкирской АССР. М., Л.: АН СССР, 1941. 156 с.
 35. *Trenberth K.E., Hurrell J.W., James W.* Comment on: “The Interpretation of Short Climate Records with Comments on the North Atlantic and Southern Oscillations” // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1999. V. 80, N 12. P. 2721–2722.
 36. *Daubechies I.* Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992. 357 p.
 37. *Meyers S.D., Kelly B.G., O'Brien J.J.* An introduction to wavelet analysis in oceanography and meteorology: With application to the dispersion of Yanai waves // *Mon. Weather Rev.* 1993. V. 121, N 10. P. 2858–2866.
 38. *Васильев Д.Ю., Лукманов Р.Л., Ферантонтов Ю.И., Чувьоров А.Н.* Цикличность гидрометеорологических характеристик на примере Башкирии // *Докл. АН*. 2012. Т. 447, № 3. С. 331–334.
 39. *Васильев Д.Ю., Сивохин Ж.Т., Чибилев А.А.* Динамика климата и внутривековые колебания стока в бассейне реки Урал // *Докл. АН*. 2016. (в печати).
 40. *Сапожникова В.А., Груздев А.Н., Агеев Б.Г., Пономарев Ю.Н., Савчук Д.А.* Связь вариаций содержания CO₂ и H₂O в годичных кольцах кедров сибирского с вариациями метеорологических параметров // *Докл. АН*. 2013. Т. 450, № 5. С. 592–598.
 41. *Christie D.A., Boninsegni J.A., Cleaveland M.K., Lara A., Quesne C., Morales M.S., Mudelsee M., Stahle D.W., Villalba R.* Aridity changes in the Temperate-Mediterranean transition of the Andes since AD 1346 reconstructed from tree-rings // *Clim. Dyn.* 2011. V. 36. P. 1505–1521. DOI: 10.1007/s00382-009-0723-4.
 42. *Nagaya K., Kitazawa K., Miyake F., Masuda K., Muraki Y., Nakamura T., Miyahara H., Matsuzaki H.* Variation of the Schwabe cycle length during the Grand Solar Minimum in the 4th century BC deduced from radiocarbon content in tree rings // *Solar Phys.* 2012. V. 280. P. 223–236. DOI: 10.1007/s11207-012-0045-2.
 43. *Touet V., Taylor A.H.* Multi-century variability in the Pacific North American circulation pattern reconstructed from tree rings // *Clim. Dyn.* 2010. V. 35. P. 953–963. DOI: 10.1007/s00382-009-0605-9.
 44. *Rigozo N.R., Lisi C.S., Fiho M.T., Prestes A., Nordemann D.J.R., Echer M.P.S., Echer E., Silva H.E., Rigozo V.F.* Solar-Terrestrial Signal Record in Tree Ring Width Time Series from Brazil // *Pure Appl. Geophys.* 2012. DOI: 10.1007/s00024-012-0480-x.
 45. *Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S.* Application of cross wavelet transforms and wavelet coherence to geophysical time series // *Nonlinear Process. Geophys.*

2004. V. 11. P. 561–566. SRef-ID: 1607-7946/npg/2004-11-561.
46. *Torrence C., Compo G.P.* A practical guide to wavelet analysis // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1998. V. 79, N 1. P. 61–78.
47. *Maraun D., Kurths J.* Cross wavelet analysis: Significance testing and pitfalls // *Nonlinear Process. Geophys.* 2004. V. 11. P. 505–514. SRef-ID: 1607-7946/npg/2004-11-505.
48. *Rigozo N.R., Viera L.E.A., Echer E., Nordemann D.J.R.* Wavelet analysis of Solar-ENSO imprints in tree rings data from Sourthen Brazilin the last century // *Clim. Change.* 2003. V. 60, N 6. P. 329–340.
49. *Rossi A., Massei N., Laignel B.* A synthesis of the time-scale variability of commonly used climate indices using continuous wavelet transform // *Global Planet. Change.* 2011. V. 78, N 1. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2011.04.008.

D.Yu. Vasil'ev, S.E. Kucherov, V.V. Lazarev. **The relationship of the solar activity, climatic indices, and May–July precipitation reconstructed from the tree rings of larch in the Russian Southern Ural.**

The May–July precipitation data for the Russian Southern Ural reconstructed via treatment of the radial growth of larch late Sukachev (*Larix sukaczewii* Dyl.) were analyzed with a wavelet transform. Next, a cross wavelet transform was used to compare the reconstructed data with the average annual values of Wolf numbers (sunspot numbers (SSN)) and the North Atlantic Oscillation (NAO) and Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) indices. The wavelet analysis revealed hidden periodicities in the original series and allowed one to define the relationship with the Wolf numbers and the NAO and AMO variabilities. It was found that the dominant 11-year SSN cycle is present in the reconstructed data almost over the entire time of observation. The reconstructed series of May–July precipitation showed good correlations with the NAO index for 8–11 year periods and with the AMO index for 11–50 year periods. In the analysis, the observation time spans 375 years (1631–2005) for the reconstructed May–July rainfall series, 306 years (1700–2005) for the Wolf numbers, 141 years (1865–2005) for the NAO index, and 150 years (1856–2005) for the AMO index.