

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2024-1-5-17>
УДК 551.583

Поступила в редакцию 29.03.2024
Received 29.03.2024

**ЧАСТОТНАЯ СТРУКТУРА МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
АТЛАНТИЧЕСКОЙ МУЛЬТИДЕКАДНОЙ
И СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОЙ ОСЦИЛЛЯЦИЙ**

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий, Ю. А. Бровка

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрены характерные временные особенности долгопериодных изменений Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО) и Северо-Атлантической осцилляции (САО), а также повторяемость западной формы циркуляции атмосферы по Г. Я. Вангенгейму – А. А. Гирсу. Особое внимание было уделено анализу квазишестидесятилетнего, квазидевятилетнего и квазивосьмилетнего колебаний АМО и САО. Климатическая система в работе рассмотрена как колебательная, где в случае совпадения или близости собственных частот колебаний с частотами повторяющихся во времени энергетически слабых внешних воздействий могут возникать резонансы и биения различного временного масштаба. Эта гипотеза получила в работе подтверждение: установлена суперпозиция собственных колебаний АМО и колебаний, связанных с планетными влияниями на климатическую систему. Мировой океан рассмотрен в работе как основное звено автоколебаний климатической системы.

Ключевые слова: Атлантическая мультидекадная осцилляция; Северо-Атлантическая осцилляция; циркуляция атмосферы; деклинационный прилив.

Для цитирования. Логинов В. Ф., Микуцкий В. С., Бровка Ю. А. Частотная структура многолетней изменчивости Атлантической мультидекадной и Северо-Атлантической осцилляций // Природопользование. – 2024. – № 1. – С. 5–17.

**FREQUENCY STRUCTURE OF THE LONG-TERM VARIABILITY
OF THE ATLANTIC MULTIDECADAL
AND THE NORTH ATLANTIC OSCILLATIONS**

V. F. Loginov, V. S. Mikutskiy, Yu. A. Brovka

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The article considers the specific temporal features of long-period changes in Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and North Atlantic Oscillation (NAO) as well the frequency of the occurrence of the western form of the atmospheric circulation according to G. Ya. Vangengeim – A. A. Geers. Special attention was paid to the analyzing of quasi-sixty-year, quasi-nine-year and quasi-eight-year oscillations in the change of AMO and NAO. The climatic system is considered as an oscillatory system, where in case of the coincidence or proximity of the natural frequencies of oscillations with the frequencies of energetically weak external impacts repeated in time, the resonances and beating of different time scales can occur. This hypothesis was confirmed in the article: the superposition of the natural oscillations of AMO and oscillations related to planetary influences on the climate system was established. The world ocean is considered as the main link of the climate system auto oscillations.

Keywords: Atlantic Muldecadal Oscillation; North Atlantic Oscillation; atmospheric circulation; declinational tide.

For citation. Loginov V. F., Mikutskiy V. S., Brovka Yu. A. Frequency structure of the long-term variability of the Atlantic Multidecadal Oscillation and the North Atlantic Oscillations. *Nature Management*. 2024, no. 1, pp. 5–17.

Введение. Как показано в многочисленных работах [1–18], в долгопериодной части частотной структуры Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО), Северо-Атлантической осцилляции (САО) и других гидрометеорологических характеристик содержится мощная квазистешидесятилетняя составляющая (55–65 лет). Ее амплитуда в изменении различных гидрометеорологических характеристик по разным оценкам колеблется от 15 до 45 % от общей дисперсии рядов. Проведенные нами исследования показали, что амплитуда квазистешидесятилетней составляющей изменяется в многолетнем и годовом ходе, а также подвержена региональным изменениям [2–5]. Она наиболее выражена в Восточной Европе в квадрате с координатами 47°–57° с. ш., 20°–38° в. д., включая территорию Беларуси, а также в изменении температуры воды Северной и Южной Атлантики и северной части Тихого океана [2, 3, 5].

В короткопериодной части спектра доминируют квазидевятилетние и квазивосьмилетние колебания, а также колебания в интервале частот 3–7 лет. Последний интервал характерен для колебания Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Амплитуды квазидевятилетних и квазивосьмилетних колебаний изменяются в широких пределах (3–15 %), существенно трансформируясь в разных пространственно-временных интервалах [4–5, 14–17, 19–23]. Природа названных выше колебаний является предметом острых дискуссий. Квазистешидесятилетнее колебание в изменении гидрометеорологических характеристик чаще связывают с наличием в климатической системе автоколебаний подобной продолжительности [2, 3, 6–8, 12, 13]; имеется также ряд работ, в которых показано их космическое происхождение [2–4, 16, 17, 24].

Происхождение квазидевятилетних и квазивосьмилетних колебаний чаще связывается с влиянием внутренних процессов в климатической системе (взаимодействие океана и атмосферы), а также космическими факторами, такими как деклинационный лунный прилив в атмосфере и океане (18,61 года) или высокочастотными изменениями инсоляции, которые возникают в результате возмущений элементов земной орбиты Луной и планетами солнечной системы [3, 24–27]. В расчетах, основанных на вековых изменениях эксцентриситета, долготы перигелия и наклона оси вращения Земли, эти возмущения раньше не учитывались. На фоне существующей в результате изменения параметров Земной орбиты вековой тенденции сокращения приходящей от Солнца энергии отмечаются осложняющие ее квазидевятинадцатилетние вариации (18,61 года). В действительности, как отмечается в работе В. М. Федорова [25], восходящая и нисходящая фазы квазидевятинадцатилетнего цикла характеризуются продолжительностью 8 и 11 лет. Подробнее вопросы причинности выявленных циклов в изменении гидрометеорологических характеристик будут рассмотрены ниже.

Материалы и методика исследований. Значение индекса АМО представляет собой аномалию температуры воды (отклонение от среднего) в Северной Атлантике. Как правило, вычисляются среднегодовые значения АМО от экватора до 80° с. ш.

Нами использованы данные месячного разрешения проекта Kaplan Extended SST V2 [28], доступные на сайте Лаборатории физических наук Национального управления океанических и атмосферных исследований (PSL, NOAA, USA, <http://www.psl.noaa.gov/data/limeseries/AMO/>).

Для исследования частотной структуры изменений АМО применены метод анализа сингулярного спектра (Singular Spectrum Analysis, SSA) [29] и СВАН-анализ [30].

При СВАН-анализе нами использован скользящий временной интервал 56 лет. В этом случае задача сводилась к нахождению значений амплитудного спектра $A = A(t, f)$ (где t – середина скользящего временного окна; f – частота). Длина окна не должна быть слишком малой, поскольку при этом уменьшается точность спектрального анализа и, кроме того, теряется информация о низких частотах. По рекомендации [31] длина ряда (периода или подпериода) должна быть в 5–6 раз больше искомого периода (цикла). Завышенная «длина окна» также нежелательна, так как в этом случае будут сглаживаться высокочастотные колебания. Спектральный анализ в скользящих окнах временных рядов проведен с использованием Фурье-анализа, представленного программой Statistica.

Сплайновые тренды построены с помощью методов наименьших квадратов. Сплайны являются кривыми с минимальной кривизной, т. е. они максимально гладко аппроксимируют точки временного ряда. Отмечается, что сплайн-функция наиболее точно реализует линию, которую провел бы исследователь, пытаясь вручную осуществить аппроксимацию.

Использован также метод наложения эпох.

Результаты и их обсуждение. Анализ изменений АМО вблизи реперных дат (максимумов и минимумов) многолетнего квазидевятинадцатилетнего деклинационного прилива. В работе [4] нами было показано, что минимальные значения АМО наблюдались вблизи реперных дат, а максимумы значений АМО – на восходящей и нисходящей ветвях приливообразующей силы деклинационного прилива за 4–5 лет до и 4–5 лет после экстремумов (максимумов и минимумов) приливообразующей силы.

Полученный ранее результат можно подкрепить и путем проведения анализа методом наложения эпох средних величин АМО и величин отклонений значений АМО от тренда, вычисленного с применением сплайн-метода.

На рис. 1 представлены сглаженные среднегодовые значения АМО и отклонения от сплайнового тренда (остатки). На нем видно, что квазистешидесятилетнее колебание выбирает около 0,5 °С, а также заметна слабая трендовая составляющая, величина которой составляет около 0,2 °С. Остатки АМО были подвергнуты анализу методом наложения эпох.

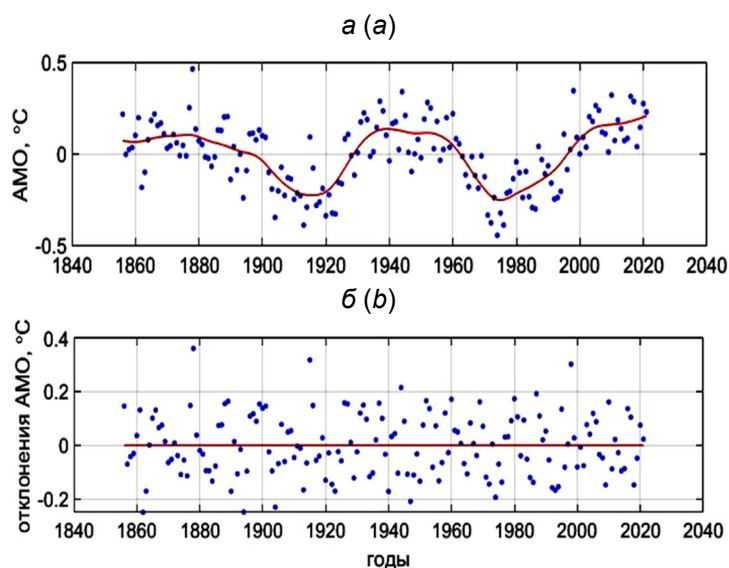


Рис. 1. Сплайновое сглаживание среднегодовых значений AMO (а) и отклонения AMO от сплайнового тренда (остатки) (б)

Fig. 1. Spline smoothing of annual mean AMO values (a) and AMO deviation from the spline trend (residuals) (b)

На рис. 2 методом наложения эпох представлены средние величины AMO за 8 лет до и 8 лет после реперных дат – минимумов (1864, 1882, 1901, 1920, 1938, 1957, 1975, 1994, 2013 г.) и максимумов (1873, 1892, 1910, 1929, 1947, 1966, 1985, 2003, 2022 г.) многолетнего деклинационного прилива. Из этого рисунка следует, что вблизи экстремумов деклинационного прилива (минимумов и максимумов) отмечаются низкие значения AMO, тогда как высокие значения AMO наблюдаются на восходящей и нисходящей ветви деклинационного прилива; они достигают максимальных значений на 4–5-й год до и после реперных дат. На графиках также заметно наличие квазидевятилетнего колебания в изменении средних величин AMO.

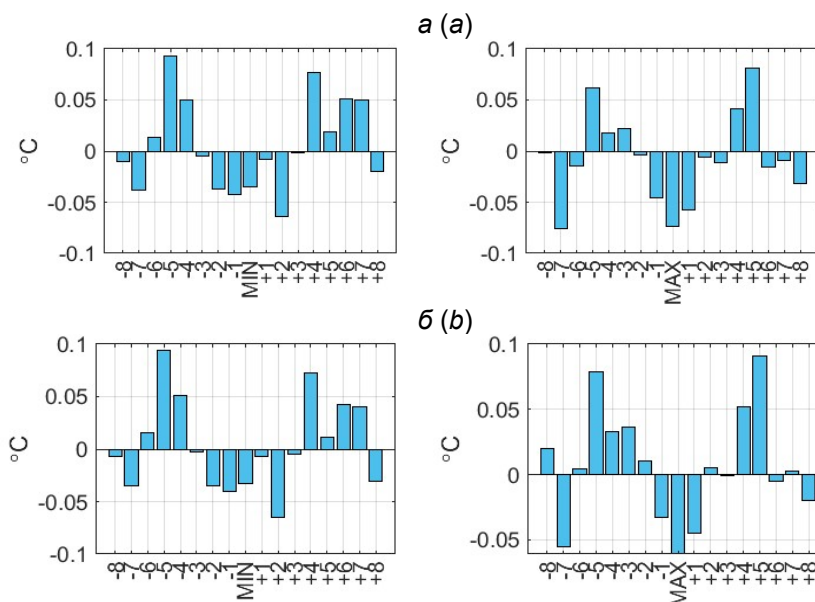


Рис. 2. Средние величины значений AMO (а) и средние величины отклонений значений AMO от тренда (сплайна, см. рис. 1) (б) вблизи реперных дат – минимумов и максимумов многолетнего деклинационного прилива

Fig. 2. Mean AMO values (a) and mean values of deviations of AMO values from the trend (spline, see Fig. 1) (b) near the key dates – minimum and maximum of the multi-year declinational tide

Анализ характера связи изменений индексов АМО, САО и повторяемости западной формы циркуляции атмосферы (W) по Г. Я. Вангенгейму – А. А. Гирсу [32]. Кроме известных характерных форм связей внешних факторов с различными крупномасштабными характеристиками в Атлантическом секторе не меньший интерес представляют оценки изменений их частотной структуры в разных частях спектра. Выше (см. рис. 1) были представлены сглаженные среднегодовые значения АМО и отклонения АМО от сплайнового тренда (остатки). Эти остатки, напоминающие хаотическое поле точек, были подвергнуты спектральному анализу.

На рис. 3 приведены периодограмма отклонений от сглаженного сплайна, вариант периодограммы с использованием весов Хемминга (спектрограмма) и видно, что на данных изображениях ярко проявляются квазидевятилетние колебания с максимумом в полосе частот 9,2–9,3 года.

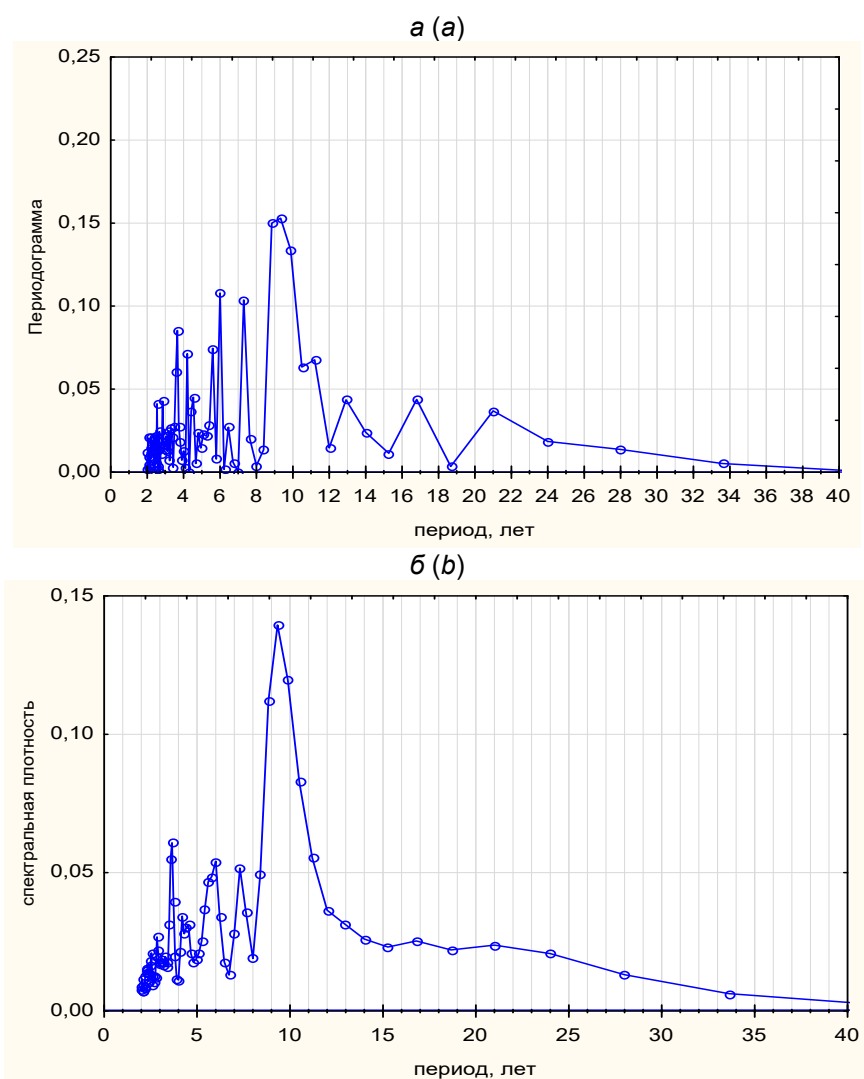


Рис. 3. Периодограмма отклонений АМО от сглаживающего сплайна (а) и сглаженная с помощью весов Хемминга периодограмма отклонений АМО (спектрограмма) (б). Наибольшая мощность находится в диапазоне частот 8,8–10 лет. Длина ряда – 168 (1855–2022 гг.)

Fig. 3. Periodogram of AMO deviations from the smoothing spline (a) and periodogram of AMO deviations smoothed with Hemming weights (spectrogram) (b). The highest power is in the frequency range of 8,8–10 years. The length of the series is 168 (1855–2022)

Другой важной характеристикой климатического режима в Атлантическом и Европейском секторах Северного полушария, как показано в многочисленных работах, является повторяемость различных форм циркуляции по Вангенгейму – Гирсу [32]. Авторы выделили три формы циркуляции: западную (W), восточную (E) и меридиональную (C). Классификация Г. Я. Вангенгейма основана на учете длинных

термобарических волн, наблюдаемых в толще тропосферы и нижней стратосферы, с которыми тесно связаны многие особенности распределения метеорологических и гидрологических полей Северной Атлантики. При процессах западной формы циркуляции (W) в толще тропосферы наблюдаются волны малой амплитуды, быстро смещающиеся с запада на восток. Как известно, характер длинных волн определяет тепловое состояние океана и суши посредством изменения степени трансформации солнечного излучения и уходящего длинноволнового излучения облачным покровом, а также изменениями газового и аэрозольного состава атмосферы.

В этой связи логично рассмотреть связь повторяемости западной формы циркуляции с такими феноменами крупномасштабной циркуляции в Атлантическом и Европейском секторах Северного полушария, как АМО и САО. Между повторяемостью западной и восточной форм циркуляции имеется тесная отрицательная связь ($r = -0,8$), что позволяет ограничиться рассмотрением одной из форм – западной. Среднегодовое число дней с западной формой циркуляции и сглаживающий сплайн (верхняя часть графика), а также отклонения от сглаживающего сплайна (остатки) представлены на рис. 4.

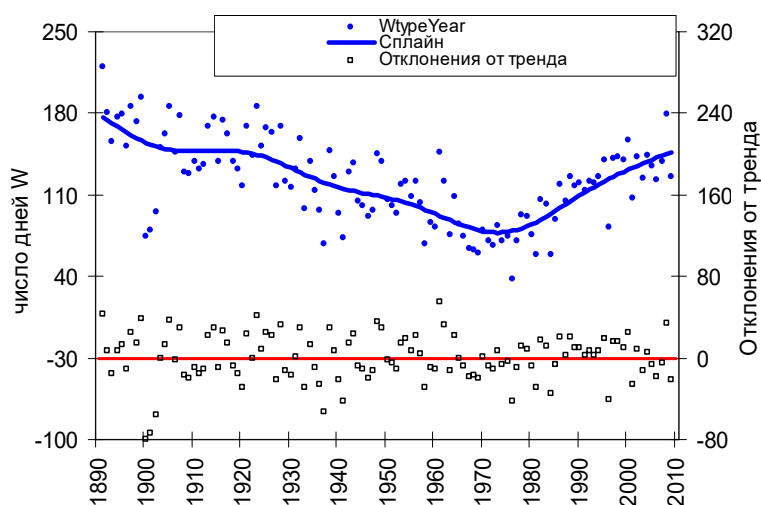


Рис. 4. Динамика годового числа дней W с западным типом циркуляции атмосферы по Г. Я. Вангейгейму (тренд – сглаживающий сплайн, сверху) и отклонения W от сглаживающего сплайна (внизу)

Fig. 4. Dynamics of the annual number of days W with the western type of atmospheric circulation according to G. Ya. Vangengeim (trend – smoothing spline, top) and deviation of W from the smoothing spline (bottom)

Сглаживающая кривая повторяемости W обнаруживает падение в интервале времени с 1891 г. до середины 1970-х годов с последующим ростом с 1970-х годов почти до конца используемого периода. В спектре отклонений повторяемости W (рис. 5) от сплайна обнаружены два заметных периода: продолжительность долгопериодного колебания составляет более 40 лет и ряд короткопериодных колебаний. Учитывая малую длину выборки, невозможно определить точную продолжительность долгопериодного колебания. В короткопериодной части спектра выделяется период, средняя длительность которого составляет около 9,4 года (см. рис. 5). Она близка к длительности периода (9,2–9,3 года), выявленного при спектральном анализе отклонений значений АМО от сглаживающего сплайна, имеющего квазидесятилетний характер.

Долгопериодные изменения амплитуды квазидесятилетнего цикла в изменении АМО и квазидесятилетнего цикла в изменении САО обнаруживают схожесть (рис. 6), что позволяет сделать вывод о тесной связи амплитуд колебаний около 8 и около 9 лет в изменении АМО, САО и повторяемости западной формы циркуляции по Вангенгейму – Гирсу за более чем столетний период.

Сравнительный анализ устойчивых во времени 7–10-летних компонент в изменении повторяемости формы W в скользящих 56-летних окнах показал наличие ярко выраженной квазидесятилетней составляющей в указанном интервале: максимум спектральной плотности приходится на период около 9,4 года. Результаты сравнительного анализа в скользящих окнах в работе не приводятся.

Таким образом, наличие квазидесятилетнего колебания следует считать надежно установленным фактом для такой крупномасштабной характеристики общей циркуляции атмосферы и океана, как АМО. В короткопериодной части спектра САО обнаруживается гармоника, близкая к восьми годам (~7,75 года) с изменяющейся амплитудой, синхронизированной с изменяющейся амплитудой квазидесятилетней (9,93 года) гармоники в изменении АМО (см. рис. 6).

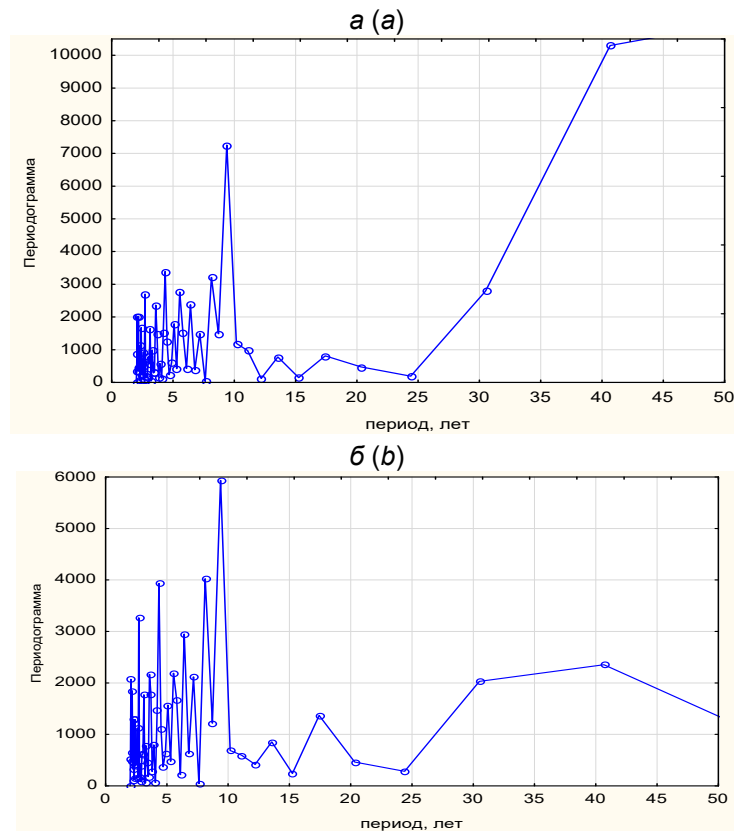


Рис. 5. Периодограммы значений годового числа дней W с западным типом циркуляции атмосферы по Г. Я. Вангейгейму (а) и их отклонений от сглаживающего сплайна (б)

Fig. 5. Periodograms of the values of the annual number of days W with the western type of atmospheric circulation according to G. Ya. Vangengeim (a) and their deviations from the smoothing spline (b)

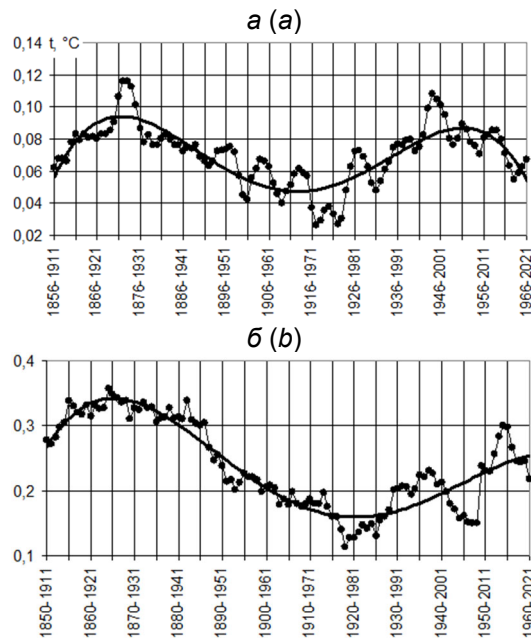


Рис. 6. Значения амплитуд: а – 9,33-годовой гармонике среднегодовых значений АМО (окно 56 лет); б – 7,75-годовой гармонике среднегодовых значений САО (окно 62 года)

Fig. 6. Amplitude values: a – 9,33-annual harmonic of the average annual values of AMO (56 year window); b – 7,75-annual harmonic of the average annual values of NAO (62 year window)

Многолетние изменения амплитуды квазидевятилетнего колебания в изменении АМО (~9,3 года) и амплитуды квазивосьмилетнего колебания в изменении САО (~7,75 года) имеют максимальные значения в периоды наибольшей повторяемости западной формы циркуляции. Эти периоды, наблюдавшиеся в 1900–1928 и 1996–2005 гг., характеризуются интенсивным выносом теплого и влажного воздуха с Атлантики, а также формированием теплых зим на территории Европы и в Западной Сибири (в 1-м естественном синоптическом регионе Б. П. Мультиановского).

При увеличении притоков тепла из океана в атмосферу происходят более интенсивное развитие длинных волн, усиление меридионального воздухообмена и переход западной формы циркуляции в меридиональные формы – восточную и меридиональную, т. е. наступает период с высокой возмущенностью циркуляции атмосферы. Для последних двух форм циркуляции характерно формирование блокирующих ситуаций в атмосфере и, как следствие, засух и суровых зим. Это особенно характерно для восточной формы циркуляции в первом синоптическом регионе Б. П. Мультиановского. В период развития западной формы (*W*) циркуляции в короткопериодной части спектра *W* наиболее ярко выражено квазидевятилетнее колебание (~9,4 года). Проведенное исследование показало, что в полосе частот (7–10 лет) в изменении различных гидрометеорологических характеристик на Евразийском континенте зачастую обнаруживаются циклы, обладающие статистической значимостью, что позволяет использовать их в практике сверхдолгосрочного прогнозирования [19].

Территория Республики Беларусь относится к зоне, где в изменении гидрометеорологических характеристик выделяется квазивосьмилетнее колебание. Это позволило нам учесть пространственно-временную когерентность квазипериодических компонент метеорологических полей при разработке метода долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования. Отметим, что летом в квадрате 44° – 58° с. ш. и 15° – 45° в. д. ярко выражена и квазидесятилетняя компонента [5]. Эту особенность в изменении гидрометеорологического режима также можно учесть в долгосрочном и сверхдолгосрочном прогнозировании.

В заключение следует отметить еще одну обнаруженную характерную черту в изменении АМО и САО, которая имеет принципиальное значение.

Выявленная характерная связь изменений амплитуд квазидевятилетней и квазивосьмилетних колебаний в АМО и САО с повторяемостью и, как правило, интенсивностью зональной циркуляции (*W*) по Вангенгейму – Гирсу свидетельствует о том, что начальные условия в атмосфере определяют характер и степень проявления внешних (космических) факторов в климатической системе. Океан, в зависимости от временных масштабов изменений, может быть как внешним, так и внутренним климатообразующим фактором. Для рассматриваемых в работе временных масштабов океан является внешним фактором для атмосферы.

В случае доминирования зональной циркуляции в атмосфере (большая повторяемость западной формы циркуляции *W*) складываются более благоприятные условия для проявления внешних факторов в Евразийском секторе, нежели в случае развития восточной (*E*) и меридиональной (*S*) форм циркуляции. В последних двух случаях возмущенность атмосферной циркуляции становится большой, развиваются длинные волны, усиливается меридиональный воздухообмен и условия для проявления внешних факторов в климатической системе становятся неблагоприятными. Это может свидетельствовать о том, что начальные условия в климатической системе определяют характер проявления внешних факторов в атмосфере, т. е. нестабильность связей внешних факторов с параметрами атмосферы может определяться начальными условиями. Однако нестабильность таких связей не является синонимом их отсутствия.

Рассмотрим некоторые характерные особенности изменений САО. В работах [9, 20, 22] показано, что положительная и отрицательная фаза САО формируют противоположные по знаку аномалии солености вод в море Лабрадор. Последние, в свою очередь, оказывают воздействие на транспортировку холодных вод западными пограничными течениями. Указанные процессы могут создавать основу автоколебательного процесса в климате Атлантико-Европейского региона. Оценка времени транспортировки холодных вод в нижнем звене меридиональной термохалинной циркуляции вод Северной Атлантики показала, что среднее время переноса плотностных аномалий глубинных вод моря Лабрадор в субтропические широты составляет 7–8 лет [20]. Принимая во внимание вышеизложенное, значения индекса САО могут быть использованы в качестве функционала 7–8-летней составляющей в изменении термического режима вод Северной Атлантики. Значения индекса САО, как известно, определяются изменениями давления в Исландском и Азорском центрах действия атмосферы, а также изменениями морфометрических характеристик указанных центров. В изменении САО не обнаружено строгих периодических колебаний. Однако наличие циклов разной длительности и разной амплитуды обнаружено в ряде работ. Одним из таких циклов является квазивосьмилетний [19–23, 33]. Проведенный нами СВАН-анализ изменений индекса САО за период с 1825 по 2022 г. показал наличие квазивосьмилетнего цикла в изменении среднегодовых и зимних значений индекса САО.

Амплитуда обнаруженного цикла варьирует в широких пределах в зависимости от периода времени и времени года. Наибольшие амплитуды квазивосьмилетнего цикла приходятся на вторую половину XIX в. – первую треть XX в. Второй, менее выраженный максимум приходится на вторую половину XX в. – первые 10–15 лет текущего столетия. Проведенное нами сопоставление среднегодовых величин амплитуд квазивосьмилетнего цикла (7,75 лет) в изменении индекса САО и среднегодовых величин амплитуд квазидевятилетнего цикла (9,33 года) в изменении АМО указывает на их определенную синхронизацию в многолетнем ходе (см. рис. 6), приводящую к увеличению амплитуд квазидевятилетнего колебания (биению) через 72 года. Интересно отметить, что продолжительность установленного биения АМО с точностью до нескольких лет совпадает с продолжительностью выявленного ранее колебания температуры в Англии за период с 1659 по 2021 г. Особенно ярко этот цикл проявляется в последние два столетия.

Частотная структура изменений АМО как следствие резонансов и биений собственных частот (автоколебаний) и частот, генерируемых внешними воздействиями. Как известно, в изменении современного глобального и регионального климата содержатся трендовая, циклическая и случайная составляющие. Трендовая составляющая, как правило, приписывается влиянию антропогенных факторов на климат. Имеется достаточно оснований в пользу такой трактовки. Циклические составляющие разного временного масштаба связаны с влиянием внешних факторов, а также внутренней динамикой океана и взаимодействием океана и атмосферы. Механизмы, которые поддерживают эти колебания, отличаются большим разнообразием. Чаще принимается, что причина климатических колебаний кроется в самой климатической системе и является результатом сложных нелинейных взаимодействий между ландшафтными оболочками планеты (атмосферой, гидросферой, криосферой, биосферой). Существуют исследования, в которых показано, что изменения в климатической системе могут происходить и без внешних воздействий [34]. На протяжении всей истории климатических исследований интерес ученых к изучению реакции климата на воздействия внешних климатообразующих факторов (солнечная активность, влияние планет Солнечной системы, приливообразующие силы Луны и Солнца и др.) не ослабевал. Для указанных внешних факторов характерны циклические изменения разного временного масштаба. Последние обнаружены в изменении характеристик ландшафтных оболочек Земли (атмосферы, гидросферы, криосферы, биосферы). Выявлены также предпосылки учета циклических колебаний при сверхдолгосрочном метеорологическом прогнозировании и прогнозировании климата [3, 16, 17, 24–27, 35].

Согласно теории колебательных систем [11, 36–38] малая величина внешних воздействий на колебательную систему не является препятствием для модуляции резонансных колебаний на соизмеримых частотах. Соизмеримыми являются такие частоты, которые имеют малые циклические соотношения между собой, например: 1 : 2, 1 : 3, 2 : 3, 3 : 2 и т. д. Резонанс может возникать при слабой связи между объектами; слабость сил компенсируется многократным их воздействием. В работе [11] указано, что при наложении даже слабых связей между объектами, система переходит в такой режим движения, при котором частоты объектов становятся равными, кратными или находящимися в рациональных соотношениях. Способность сложных колебательных систем к самосогласованию – это результат естественной оптимизации системы по минимуму затрат энергии. В эволюционном масштабе времени накапливающиеся эффекты малых сил становятся определяющими. А. С. Монин и Д. М. Сонечкин [6] предполагали, что появление колебаний и циклов в климатической системе оказывает влияние на внешнее воздействие как прямую резонансную раскачку на собственных частотах на основе параметрического резонанса. Энергия малых импульсов внешних воздействий может оказаться недостаточной для возникновения простого резонанса, но достаточной для стохастического резонанса [11, 39].

В работе Б. Г. Шерстюкова [11] развивается идея о реальности механизма передачи повторяющихся воздействий космических факторов на колебательную климатическую систему посредством резонансов. Этот механизм функционирует на принципах слабых взаимодействий двух колебательных систем на равных, близких или соизмеримых частотах. Резонансный механизм может запускаться в действие слабыми регулярно повторяющимися внешними воздействиями на климатическую систему. Тем самым автоматически снимается основное возражение противников космических воздействий на погоду и климат. Основное внимание при этом должно быть сконцентрировано на поиске районов Земного шара, где собственные частоты колебаний гидрометеорологических характеристик (периоды автоколебаний) равны или близки к частоте колебаний даже слабой внешней климатообразующей силы. Этот вывод был сделан еще в 1960-х годах, когда были предприняты попытки объяснить неустойчивость солнечно-земных связей начальными условиями в климатической системе и околоземном космосе [35]. Именно неустойчивость солнечно-земных связей служила главным аргументом при отрицании таких связей и породила неоправданный скептицизм по отношению к проблеме космических влияний на климатическую систему. Этот скептицизм, к сожалению, сохранился, но стал более «мягким» по содержанию.

Как известно, при резонансном механизме возможно наличие временных периодов с разной степенью проявления воздействий внешних сил, т. е. вполне реально интенсивность биений может усиливаться или ослабляться.

В работе В. И. Бышева с соавторами [40] приводятся результаты, которые свидетельствуют о том, что в динамике современной климатической системы формируются автоколебания различной длительности. Такой тип изменчивости природных процессов характеризует флюктуации на собственных частотах, не обязательно совпадающих с частотой вынуждающей внешней силы. Длительность надежно установленных колебаний в климатической системе близка к 60-ти и 19-ти годам [3, 4, 8, 10, 14, 16, 18, 26, 27]. Последняя частота колебаний близка к частоте внешнего воздействия, связанного с частотой одного из оборотов долгопериодного деклинационного лунного прилива в атмосфере и океане. Его длительность составляет 9,305 года, т. е. равна полупериоду квазидевятнадцатилетнего деклинационного прилива (18,61 года). Представим некоторые аргументы в пользу предложенной гипотезы.

В изменении индекса САО обнаружен квазисотомилетный цикл, который выбирает около 16 % общей дисперсии. Цикл с подобной длительностью обнаружен в изменчивости Гольфстрима [23, 41]. Нами показано, что в августе этот цикл в колебании атмосферного давления охватывает практически все Северное полушарие с максимальным проявлением в центре субтропического антициклонического круговорота Северной Атлантики в районе Гренландии и Исландии. В этих районах цикл определяет до четверти общей изменчивости приземного атмосферного давления [5]. Физическое обоснование квазисотомилетного цикла в море Лабрадор представлено в работе [20], где показано, что транспорт воды в нижнем звене меридиональной термохалинной циркуляции вод Северной Атлантики имеет среднее время переноса плотностных аномалий глубинных вод моря Лабрадор к субтропическим широтам (26,5° с. ш.) 7–8 лет. Положительная и отрицательная фазы САО формируют противоположные по знаку аномалии солёности вод в море Лабрадор, которые оказывают воздействие на транспорт холодных вод западными пограничными течениями. Описанные процессы являются звеньями квазисотомилетного автоколебания климата Атлантико-Европейского региона.

Таким образом, как показано нами в работе [4], суперпозиция квазисотомилетного собственного колебания в климатической системе и квазидевятилетнего оборота деклинационного лунного прилива, который является вынуждающей силой, приводит к изменению амплитуды квазидевятилетнего колебания во времени. Это собственно и установлено нами в изменении индекса АМО за период с 1850 по 2021 г. Максимальные амплитуды квазидевятилетнего колебания АМО наблюдаются через 72 года. Последняя величина является наименьшим кратным восьми- и девятилетних колебаний. Схожесть в многолетнем изменении амплитуд указанных колебаний АМО и САО видна из рис. 6. Важно подчеркнуть, что фаза квазидевятилетнего колебания АМО остается практически постоянной. Это свидетельствует о том, что фаза вынуждающей силы – 9,305-летний оборот деклинационного лунного прилива – является устойчивым генератором обнаруженных колебаний в изменении АМО.

В заключение еще раз подчеркнем, что одной из причин неустойчивости установленных связей внешних факторов с параметрами климатической системы является их зависимость от начальных условий в атмосфере и гидросфере, например, от наличия в климатической системе энергоактивных зон, которые могут быть генераторами автоколебаний в климатической системе (собственных колебаний определенной частоты).

Проявление энергетически слабых внешних (космических) воздействий будет заметно только в случае совпадения или близости частот внешних факторов и собственных колебаний (автоколебаний) в климатической системе. Эта особенность в проявлении внешних факторов в климатической системе неоднократно отмечалась в литературе [3, 11, 16, 17, 35, 40].

Выводы.

1. Анализ многолетних изменений АМО показал наличие нескольких доминантных составляющих в изменении АМО.

2. Первым по величине вклада в изменение суммарной дисперсии является квазидесятилетнее колебание: его амплитуда выбирает от 15 до 45 % от общей изменчивости среднегодового ряда и сильно варьирует в пространстве.

3. Квазидевятилетнее колебание с изменяющейся амплитудой от 0,03 °С до 0,14 °С выбирает приблизительно 3–15 % от общей изменчивости АМО. Максимальные значения амплитуды квазидевятилетнего колебания разнесены на 72 года. Это может свидетельствовать о наличии в климатической системе биения указанной периодичности двух близких по частоте колебаний: квазидевятилетнего и квазисотомилетного. Первое из них, вероятно, определяется оборотом (9,305 года) потенциала долгопериодного деклинационного лунного прилива (18,61 года). Квазисотомилетная составляющая в изменении САО связана с наличием свободных колебаний (автоколебаний) указанной периодичности в Северной Атлантике. Время, в течение которого частица морской воды из субтропиков достигает субполярных широт в нижнем звене Атлантической меридиональной циркуляции, составляет около

8 лет. Эта величина близка к периоду автоколебаний (7–8 лет) [20]. Синхронизация квазидевятилетнего и квазивосьмилетнего колебания обеспечивает, как следствие, биение АМО с периодичностью 72 года. Статистический анализ амплитуд квазидевятилетней составляющей АМО и квазивосьмилетней составляющей САО для 56-летних скользящих интервалов подтверждает сделанное выше заключение.

4. Собственно функционированием резонансов и биений только и можно объяснить неустойчивый характер влияния энергетически слабых космических сил на климатическую систему. Большая повторяемость западной формы циркуляции (низкая возмущенность общей циркуляции атмосферы), совпадающая во времени с наибольшими амплитудами короткопериодных колебаний в полосе частот 8–10 лет, связана с благоприятными условиями проявления внешних факторов в климатической системе, генерирующих такие колебания.

Список использованных источников

1. Глобальное изменение природной среды (климат и водный режим) / под ред. Н. С. Касимова, Р. К. Клиге. – М. : Научный мир, 2000. – 304 с.
2. Логинов, В. Ф. Диагноз глобального климата / В. Ф. Логинов. – СПб. : Лема, 2021. – 304 с.
3. Логинов, В. Ф. Космические факторы климатических изменений / В. Ф. Логинов ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск, 2020. – 168 с.
4. Логинов, В. Ф. Многолетние изменения частотной структуры Атлантической мультидекадной осцилляции и Северо-Атлантической осцилляции и их возможные причины / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий, Ю. А. Бровка // Гидрометеорология и образование. – 2024. – № 1. – С. 5–22.
5. Логинов, В. Ф. Современные изменения глобального и регионального климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 315 с.
6. Монин, А. С. Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы / А. С. Монин, Д. М. Сонекин ; Рос. акад. наук, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова. – М. : Наука, 2005. – 191 с.
7. Нестеров, Е. С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан / Е. С. Нестеров. – М. : Триада ЛТД, 2013. – 144 с.
8. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет / Н. М. Даценко [и др.] // Доклады Российской Академии наук. – 2004. – Т. 399, № 2. – С. 253–256.
9. Полонский, А. Б. Роль океана в изменениях климата / А. Б. Полонский. – Киев : Наукова думка, 2008. – 183 с.
10. Полонский, А. Б. Североатлантическое колебание и бюджет тепла верхнего слоя Северной Атлантики / А. Б. Полонский, П. А. Сухонос // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019. – № 4. – С. 67–100.
11. Шерстюков, Б. Г. Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы / Б. Г. Шерстюков. – Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. – 221 с.
12. Шулейкин, В. В. Физика моря / В. В. Шулейкин. – М. : Наука, 1968. – 1083 с.
13. Яковлева, Н. И. К вопросу о причинах квазипериодических колебаний климата / Н. И. Яковлева // Труды ГГО. – 1969. – Вып. 236. – С. 35–44.
14. Hurrell, J. W. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation / J. W. Hurrell // Science. – 1995. – Vol. 269. – P. 676–679.
15. Sarafanov, A. On the effect of the North Atlantic Oscillation on temperature and salinity of the subpolar North Atlantic intermediate and deep waters / A. Sarafanov // ICES J., Marine Sci. – 2009. – Vol. 66, № 7. – P. 1448–1454.
16. Scafetta, N. A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature / N. Scafetta // J. Atmos. Sol. Ter. Phys. – 2012. – Vol. 74. – P. 145–163.
17. Veretenenko, S. Manifestation and Possible Reasons of ~60-Year Climatic Cycle in Correlation Links Between Solar Activity and Lower Atmosphere Circulation / S. Veretenenko, M. Ogurtsov // Problems of Geocosmos-2018. Springer Proceeding in Earth an Environmental Sciences. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21788-4_30
18. Изменения климата Арктики и Антарктики: результат действия естественных причин / Е. И. Фролов [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2010. – № 2 (85). – С. 52–61.
19. Лысенко, С. А. Пространственно-временная когерентность квазипериодических компонент метеорологических полей, как основа долгосрочных прогнозов погоды / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2023. – Т. 67, № 6. – С. 499–507.
20. Recent slowing of Atlantic overturning circulation as a recovery from earlier strengthening / L. Jackson [et al.] // Nature Geosci. – 2016. – Vol. 9, № 7. – P. 518–522.
21. Seip, K. L. The North Atlantic Oscillations: Cycle Times for the NAO, the AMO and the AMOC / K. L. Seip, O. Grøn, H. Wang // Climate. – 2019. – Vol. 7, № 3. – Art. 43. doi:10.3390/cli7030043
22. Skillful prediction of northern climate provided by the ocean / M. Arthun [et al.] // Nature Communications. – 2017. – Vol. 8. – Art. 15875. doi:10.1038/ncomms15875
23. McCarthy, G. D. Gulf Stream Variability in the Context of Quasi-Decadal and Multidecadal Atlantic Climate Variability / G. D. McCarthy, T. M. Joyce, S. A. Josey // Geophys. Res. Lett. – 2018. – Vol. 45, № 20. – P. 11257–11264.
24. Максимов, И. В. Океан и космос / И. В. Максимов, Э. И. Саруханян, Н. П. Смирнов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1970. – 216 с.
25. Федоров, В. М. Инсоляция Земли и современные изменения климата / В. М. Федоров. – М. : Физматлит, 2018. – 232 с.

26. Войнов, Г. Н. Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне арктических морей (на примере Карского и северо-восточной части Баренцева морей) : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.28 / Г. Н. Войнов. – СПб., 2003. – 350 с.
27. Воробьев, В. Н. Лунный нодальный (деклинационный) прилив и его возможное влияние на циркуляцию атмосферы / В. Н. Воробьев, Э. И. Саруханян, Н. П. Смирнов // Ученые записки РГГМУ. – 2006. – № 2. – С. 7–19.
28. Analyses of global sea surface temperature 1856–1991 / A. Kaplan [et al.] // Journal of Geophysical Research. – 1998. – Vol. 103, № C9. – P. 18567–18589.
29. Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов : учеб. пособие / Н. Э. Голяндина. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2004. – 76 с.
30. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. / сост.: А. Г. Гамбурцев [и др.] ; науч.-ред. совет: Н. П. Лаверов [и др.]. – М. : Янус-К, 2002. – Т. 3 : Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. – 652 с.
31. Вычислительная техника в применении к статическим исследованиям в автоматике / В. В. Солодовников [и др.]. – М. : Машгиз, 1963. – 167 с.
32. Гирс, А. А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов / А. А. Гирс. – Л. : Гидрометеоиздат, 1974. – 488 с.
33. Gastineau, G. Influence of the North Atlantic SST Variability on the Atmospheric Circulation during the Twentieth Century / G. Gastineau, C. Frankignoul // J. Climate. – 2015. – Vol. 28, № 4. – P. 1396–1416. doi:10.1175/JCLI-D-14-00424.1
34. Iwashima, T. Time-spaced spectral general circulation model, I-time-space spectral model of low-order barotropic system with periodic forcing / T. Iwashima, R. Yamamoto // J. Met. Soc. Japan. – 1986. – Vol. 64. – P. 183–196.
35. Сазонов, Б. И. Солнечно-тропосферные связи / Б. И. Сазонов, В. Ф. Логинов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1969. – 116 с.
36. Молчанов, А. М. Гипотеза резонансной структуры солнечной системы / А. М. Молчанов // Пространство и время. – 2013. – № 1 (1). – С. 34–48.
37. Блехман, И. И. Синхронизация динамических систем / И. И. Блехман. – М. : Наука, Главная редакция физ.-мат. лит., 1997. – 894 с.
38. Бялко, А. В. Релаксационная теория климата / А. В. Бялко // Успехи физических наук. – 2012. – Т. 182, № 1. – С. 111–116.
39. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка / В. С. Анищенко [и др.] // Успехи физических наук. – 1999. – Т. 169, № 1. – С. 7–38.
40. Междекадные осцилляции теплосодержания верхнего деятельного слоя океана в контексте короткопериодной изменчивости современного климата / В. И. Бышев [и др.] // Труды Государственного океанографического института. – 2016. – Вып. 217. – С. 323–343.
41. Федоров, А. М. Локализация областей глубокой конвекции в морях Северо-Европейского бассейна, Лабрадор и Ирмингера / А. М. Федоров, И. Л. Башмачников, Т. В. Белоненко // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2018. – Т. 63, вып. 3. – С. 345–362.

References

1. *Global'noe izmenenie prirodnoj sredy (klimat i vodnyj rezhim)* [Global change of natural environment (climate and water regimes)]. Ed. by Kasimova N. S., Klige R. K. Moscow, Nauchny Mir Publ., 2000, 304 p. (in Russian)
2. Loginov V. F. *Diagnoz global'nogo klimata* [Diagnosis of global climate]. St. Petersburg, Lema Publ., 2021, 304 p. (in Russian)
3. Loginov V. F. *Kosmicheskie faktory klimaticheskikh izmenenij* [Space factors of climate change]. *Nac. akad. nauk Belarusi, In-t prirodnopolzovaniya* [National Academy of Sciences of Belarus, Institute of Nature Management]. Minsk, 2020, 168 p. (in Russian)
4. Loginov V. F., Mikutsky V. S., Brovka Yu. A. *Mноголетние изменения частотной структуры Атлантической мультideкадной осцилляции и Северо-Атлантической осцилляции и их возможные причины* [Multiyear variations in the frequency structure of the Atlantic Multidecadal Oscillation and the North Atlantic Oscillation and their possible causes]. *Gidrometeorologiya i obrazovanie = Hydrometeorology and education*, 2024, no. 1, pp. 5–22 (in Russian)
5. Loginov V. F., Lysenko S. A. *Sovremennye izmeneniya global'nogo i regional'nogo klimata* [Current global and regional climate changes]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2019, 315 p. (in Russian)
6. Monin A. S., Sonechkin D. M. *Kolebaniya klimata po dannym nablyudenij: trojnoj solnechnyj i drugie cikly* [Observational climate variations: triple solar and other cycles]. Moscow, Nauka Publ., 2005, 191 p. (in Russian)
7. Nesterov E. S. *Severoatlanticheskoe kolebanie: atmosfera i okean* [North Atlantic Oscillation: atmosphere and ocean]. Moscow, Triada Ltd Publ., 2013, 144 p. (in Russian)
8. Datsenko N. M., Monin A. S., Berestov A. A., Ivanchenko N. N., Sonechkin D. M. *O kolebaniyah global'nogo klimata za poslednie 150 let* [On global climate fluctuations over the past 150 years]. *Doklady Rossijskoj Akademii nauk = Reports of the Russian Academy of Sciences*, 2004, vol. 399, no. 2, pp. 253–256 (in Russian)
9. Polonsky A. B. *Rol' okeana v izmeneniyah klimata* [The role of the ocean in climate change]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2008, 183 p. (in Russian)
10. Polonsky A. B., Sukhonos P. A. *Severoatlanticheskoe kolebanie i byudzhet tepla verhnego sloya Severnoj Atlantiki* [North Atlantic Oscillation and heat budget of the upper layer of the North Atlantic]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and Applied Climatology*, 2019, no. 4, pp. 67–100 (in Russian)

11. Sherstyukov B. G. *Kolebatel'naya sistema klimata, rezonansy, dal'nie svyazi, prognozy* [Climate oscillation system, resonances, long-range communications, forecasts]. Obninsk, All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center Publ., 2021, 221 p. (in Russian)
12. Shuleykin V. V. *Fizika morya* [Physics of the sea]. Moscow, Nauka Publ., 1968, 1083 p. (in Russian)
13. Yakovleva N. I. *K voprosu o prichinah kvaziperiodicheskikh kolebanij klimata* [To the question of the causes of quasi-periodic climate fluctuations]. *Trudy GGO = Proceedings of the Main Geophysical Observatory*, 1969, iss. 236, pp. 35–44 (in Russian)
14. Hurrell J. W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 1995, vol. 269, pp. 676–679.
15. Sarafanov A. On the effect of the North Atlantic Oscillation on temperature and salinity of the subpolar North Atlantic intermediate and deep waters. *ICES J., Marine Sci.*, 2009, vol. 66, no. 7, pp. 1448–1454.
16. Scafetta N. A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature. *J. Atmos. Sol. Ter. Phys.*, 2012, vol. 74, pp. 145–163.
17. Veretenenko S., Ogurtsov M. Manifestation and possible reasons of ~60-year climatic cycle in correlation links between solar activity and lower atmosphere circulation. Problems of geocosmos-2018. Springer proceeding in Earth an environmental sciences. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21788-4_30
18. Frolov I. E., Gudkovich Z. M., Karklin V. P., Smolyanitsky V. M. *Izmeneniya klimata Arktiki i Antarktiki: rezul'tat dejstviya estestvennyh prichin* [Arctic and Antarctic climate change: the result of natural causes]. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Arctic and Antarctic issues*, 2010, no. 2 (85), pp. 52–61 (in Russian)
19. Lysenko S. A., Loginov V. F. *Prostranstvenno-vremennaya kogerentnost' kvaziperiodicheskikh komponent meteorologicheskikh polej, kak osnova dolgosrochnyh prognozov pogody* [Spatial and temporal coherence of quasi-periodic components of meteorological fields as a basis for long-term weather forecasts]. *Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2023, vol. 67, no. 6, pp. 499–507 (in Russian)
20. Jackson L. C., Peterson A. K., Roberts C. D., Wood R. A. Recent slowing of Atlantic overturning circulation as a recovery from earlier strengthening. *Nature Geosci.*, 2016, vol. 9, no. 7, pp. 518–522.
21. Seip K. L., Grøn O., Wang H. The North Atlantic Oscillations: Cycle Times for the NAO, the AMO and the AMOC. *Climate*, 2019, vol. 7, no. 3, art. 43. doi:10.3390/cli7030043
22. Arthun M., Eldevik T., Viste E., Drange H., Furevik T., Johnson H. L., Keenlyside N. S. Skillful prediction of northern climate provided by the ocean. *Nature Communications*, 2017, vol. 8, art. 15875. doi:10.1038/ncomms15875
23. McCarthy G. D., Joyce T. M., Josey S. A. Gulf stream variability in the context of quasi-decadal and multidecadal Atlantic climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 2018, vol. 45, no. 20, pp. 11257–11264.
24. Maximov I. V., Sarukhanyan E. I., Smirnov N. P. *Okean i kosmos* [Ocean and space]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970, 216 p. (in Russian)
25. Fedorov V. M. *Insolyaciya Zemli i sovremennye izmeneniya klimata* [Insolation of the Earth and modern climate change]. Moscow, Physmatlit Publ., 2018, 232 p. (in Russian)
26. Voinov G. N. *Prilivnye yavleniya i metodologiya ih issledovanij v shel'fovoj zone arkticheskikh morej (na primere Karskogo i severo-vostochnoj chasti Barentseva morej)*. Diss. dokt. geogr. nauk [Tidal phenomena and methodology of their research in the shelf zone of the Arctic seas (by the example of the Kara and north-eastern part of the Barents Seas). Dr. geogr. sci. diss.]. St. Petersburg, 2003. 350 p. (in Russian)
27. Vorobyev B. N., Sarukhanyan E. I., Smirnov N. P. *Lunnyj nodal'nyj (deklinationnyj) priliv i ego vozmozhnoe vliyanie na cirkulyaciyu atmosfery* [Lunar nodal (declinational) tide and its possible influence on atmospheric circulation]. *Uchenye zapiski RGGMU = Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University*, 2006, no. 2, pp. 7–19 (in Russian)
28. Kaplan A., Cane M., Kushnir Y., Clement A., Blumenthal M., Rajagopalan B. Analyses of global sea surface temperature 1856–1991. *J. of Geophysical Research*, 1998, vol. 103, no. C9, pp. 18567–18589.
29. Golyandina N. E. *Metod "Gusenica"-SSA: analiz vremennyh ryadov: ucheb. posobie* [Method "Caterpillar"-SSA: analysing time series]. St. Petersburg, St. Petersburg State University Publ., 2004, 76 p. (in Russian)
30. *Atlas vremennyh variacij prirodnyh, antropogennyh i social'nyh processov* [Atlas of temporal variations of natural, anthropogenic and social processes]. Gamburtsev A. G. [et al.] (compilers). T. 3. *Prirodnye i social'nye sfery kak chasti okruzhayushchej sredy i kak ob'ekty vozdeystvij* [Vol. 3. Natural and social spheres as parts of the environment and as objects of impacts]. Moscow, Janus-K Publ., 2002, 652 p. (in Russian)
31. Solodovnikov V. V., Matveev P. S., Waldenberg Yu. S., Baburin V. M. *Vychislitel'naya tekhnika v primenenii k staticheskim issledovaniyam v avtomatike* [Computing technique in application to static studies in automatics]. Moscow, Mashgiz Publ., 1963. 167 p. (in Russian)
32. Girs A. A. *Makrocirkulyacionnyj metod dolgosrochnyh meteorologicheskikh prognozov* [Macrocirculation method of long-term meteorological forecasts]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974, 488 p. (in Russian)
33. Gastineau G., Frankignoul C. Influence of the North Atlantic SST variability on the atmospheric circulation during the twentieth century. *J. Climate*, 2015, vol. 28, no. 4, pp. 1396–1416. doi:10.1175/JCLI-D-14-00424.1
34. Iwashima T. Time-spaced spectral general circulation model, I-time-space spectral model of low-order barotropic system with periodic forcing. *J. Met. Soc. Japan*, 1986, vol. 64, pp. 183–196.
35. Sazonov B. I., Loginov V. F. *Solnechno-troposfernye svyazi* [Solar-tropospheric connections]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969, 116 p. (in Russian)
36. Molchanov A. M. *Gipoteza rezonansnoj struktury solnechnoj sistemy* [Hypothesis of the resonance structure of the solar system]. *Prostranstvo i vremya = Space and Time*, 2013, no. 1(1), pp. 34–48 (in Russian)
37. Blekhman I. I. *Sinhronizaciya dinamicheskikh sistem* [Synchronisation of dynamic systems]. Moscow, Nauka, Main Editorial Office of Physical and Mathematical Literature Publ., 1997, 894 p. (in Russian)

38. Byalko A. V. *Relaksacionnaya teoriya klimata* [Relaxation theory of climate]. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Advances in the Physical Sciences*, 2012, vol. 182, no. 1, pp. 111–116 (in Russian)
39. Anishchenko V. S., Neiman A. B., Moss F., Szymanski-Gayer L. *Stohasticheskiy rezonans kak inducirovannyj shumom effekt uvelicheniya stepeni poryadka* [Stochastic resonance as a noise-induced effect of increasing degree of order]. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Advances in Physical Sciences*, 1999, vol. 169, no. 1, pp. 7–38 (in Russian)
40. Byshev V. I., Neiman V. G., Anisimov M. V., Gusev A. V., Romanov Yu. A., Serykh I. V., Sidorova A. N., Figurkin A. L., Anisimov I. M. *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta "Mezhdekadnye oscillyacii teplosoderzhaniya verhnego deyatelnogo sloya okeana v kontekste korotkoperiodnoj izmenchivosti sovremennogo klimata"* [Proc. of the St. Oceanographic Inst. "Interdecadal oscillations of upper-ocean heat content in the context of short-period variability of modern climate"]. 2016, iss. 217, pp. 323–343 (in Russian)
41. Fedorov A. M., Bashmachnikov I. L., Belonenko T. V. *Lokalizaciya oblastej glubokoj konvekcii v moryah Severo-Evropejskogo bassejna, Labrador i Irmingera* [Localization of areas of deep convection in the seas of the North European Basin, Labrador and Irminger]. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*, 2018, vol. 63, iss. 3, pp. 345–362 (in Russian)

Информация об авторах

Логинов Владимир Фёдорович – академик, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Микуцкий Владимир Станиславович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: mvs@nature-nas.by

Бровка Юлия Александровна – кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: brovka.yuliya@mail.ru

Information about the authors

Vladimir F. Loginov – Academician, D. Sc. (Geography), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Vladimir S. Mikutskiy – Ph. D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: mvs@nature-nas.by

Yuliya A. Brovka – Ph. D. (Geography), Assistant professor, Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: brovka.yuliya@mail.ru