

ФРАКТАЛЬНО-ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА  
МЕЖГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА  
РЕГИОНАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© В.Н. Еремеев<sup>1</sup>, А.Н. Жуков<sup>2</sup>, А.А. Сизов<sup>2</sup>, 2010

<sup>1</sup>Океанологический центр НАН Украины, Севастополь, Украина

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь, Украина

On the example of interannual, century and millennial variability of some geophysical parameters the fractal-wave characteristics of regional and planetary climatic systems are investigated. Considered in the article is the possibility to describe temporal variability of these systems with the model of polyphonic fractal-wave oscillator.

**Keywords:** climatic systems, interannual variability, polyphone, fractal-wave vibrator model, air temperature.

Изучение сложных, полифонических свойств колебаний климатических систем в последние десятилетия является одной из приоритетных задач в науках о Земле. Большое число работ в этой области выполняется как отдельными исследователями, так и в рамках нескольких международных программ, например, CLIVAR и PAGES [1–3]. При этом в качестве основ теории климата используются в основном достижения в изучении турбулентности несжимаемой вязкой жидкости, в частности, введение понятия странного аттрактора как фазовой траектории нелинейных динамических систем [3]. В этом случае формальному определению климата как статистического ансамбля состояний, проходимых климатической системой в ее фазовом пространстве за длительный промежуток времени, соответствует модельное представление в виде сложного стохастического вибратора.

Вместе с тем в процессе развития исследований все более очевидной становится необходимость разработки не столько узкоспециальных, сколько интегральных представлений об эволюции климатической системы и ее подсистем как органичного целого. Известно, что процессы в атмосфере, гидросфере и литосфере тесно связаны друг с другом и являются по существу звеньями единой цепи взаимодействий [3]. Однако проводимые ранее в науках о Земле исследования не ставили своей целью изучение указанных процессов с точки зрения ни системного подхода, ни поиска обобщающих (т. е. функциональных, а не параметрических) закономерностей их изменчивости. Поэтому многие вопросы в данной области, в том числе поиск и изучение обобщенных закономерностей изменчивости разнородных процессов и возможности выработки на их основе

функциональных модельных представлений о природе такой изменчивости, до настоящего времени остаются неисследованными.

В связи с изложенным климатические колебания рассматриваются в данной статье с иной, чем общепринятая, точки зрения. В работах авторов [4–7] выделены и исследованы общие свойства временной и пространственной ритмодинамики основных геофизических процессов и полей за весь доступный период наблюдений. Показано, что для квазипериодических процессов в атмосфере и гидросфере общий характер их изменчивости по времени и в пространстве подобен на разных масштабах и может быть описан с помощью модели полифонического, фрактально-волнового вибратора [5]. Такая модель представляет собой иерархическую систему полифонических осцилляторов, обладающих общими свойствами многоуровневой, самоподобной (вложенной) амплитудной модуляции и резонансного взаимодействия между основными тонами и обертонами действующих в системе колебаний.

Из полученных результатов следует, что, если для ритмодинамики по времени какого-либо процесса характерны свойства внутриспектральной изменчивости (ВСИ) и фрактально-волновой структуры такой изменчивости (ФВСИ) [4], то эти же свойства типичны и для пространственной изменчивости процесса [6, 7]. В работах [4–7] существование свойств ВСИ и ФВСИ для изменчивости временных рядов температуры воды, воздуха и других геофизических параметров показано на большом массиве данных контактных и спутниковых измерений на разных временных масштабах и для различных пунктов наблюдений. Все это дает возможность предположить, что указанные свойства должны быть

характерны для временной изменчивости климатических систем не только региональных, но и планетарной.

Известно, что изменчивость температурного поля является одним из основных факторов, формирующих глобальные и региональные особенности климата Земли. В этом отношении температура — ключевой параметр, с изменениями которого связано тем или иным образом большинство других геофизических параметров [8]. С учетом указанного цель предлагаемой работы — исследование фрактально-волновых свойств глобальной климатической системы на примере межгодовой изменчивости приземной температуры воздуха. В качестве исходных данных были использованы осредненные по поверхности двух полушарий и планеты в целом значения среднегодовых аномалий температуры воздуха за 1856–2005 гг. (рис. 1), содержащиеся в массиве Hadley Centre (<ftp://ftp.cru.uea.ac.uk/data>) [9, 10].

Методика анализа изменчивости этих рядов по времени для выявления свойств ВСИ и ФВСИ была такой же, как и в работах [4, 5], — внутри-спектральный анализ (ВСА). В соответствии с ней

все ряды были разделены на равные (длиной 12 лет), неперекрывающиеся временные отрезки (12 отрезков за период с 1862 по 2005 г.). Каждый отрезок был обработан с помощью полного преобразования Фурье. Далее для каждой гармоники последовательности полученных спектров строился временной ряд изменчивости ее амплитуды (рис. 2).

В свою очередь, ряды анализировались с помощью преобразования Фурье. Последовательность операций, алгоритмически подобная методу квадродерева [11], может повторяться для неограниченного ряда неограниченное число раз [4]. Физический смысл получаемых при этом спектров  $n$ -го порядка вложенности связан с основными свойствами фрактальных (дробных) множеств, используемых в модели полифонического вибратора (ПВ) [5].

Известно, что фрактальное описание эффективно для неравновесных, нестационарных явлений, относящихся к сфере действия нелинейных, циклических или автореферентных процессов, в которых области проявления причин и следствий совпадают. Исчезающее в таком случае различие

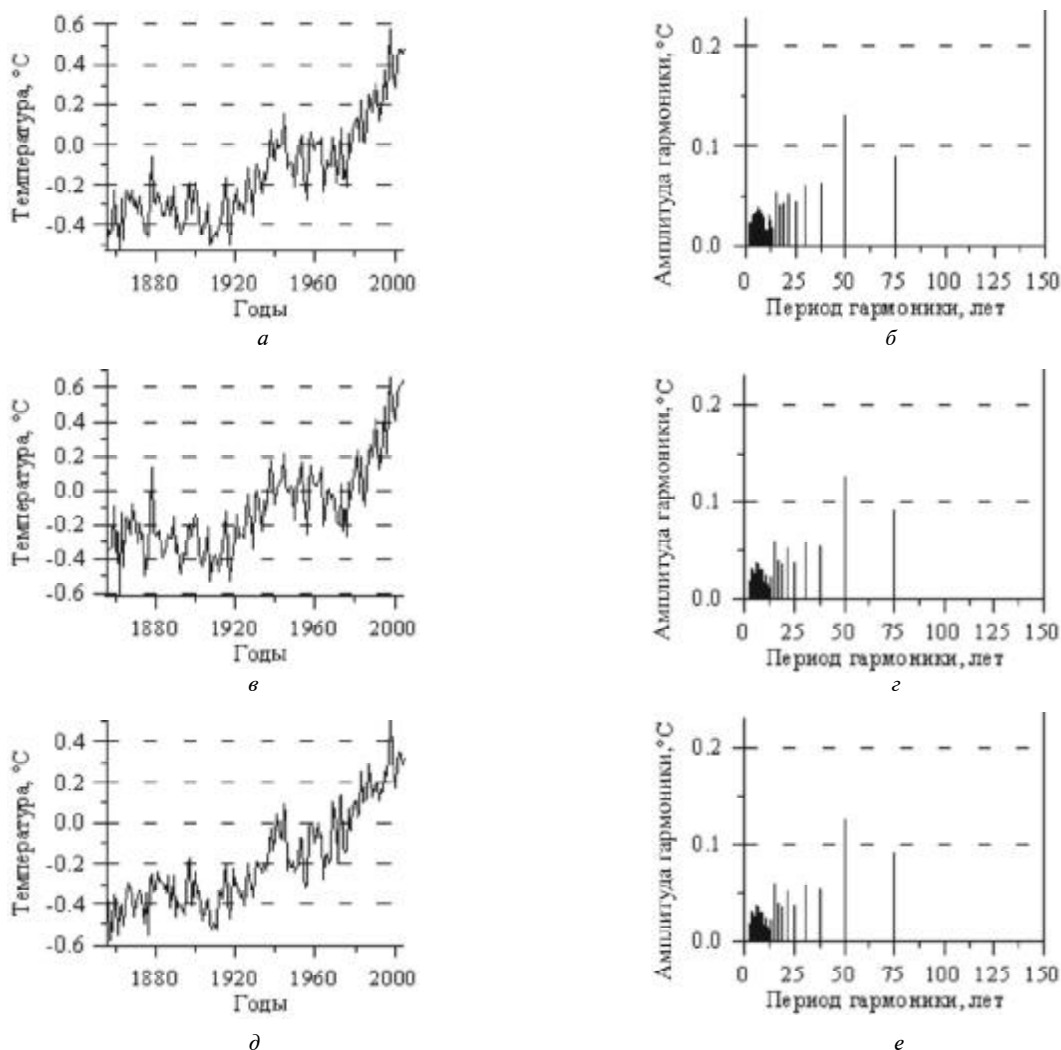


Рис. 1. Ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха за 150 лет (1856–2005) для планеты в целом (а), Северного (б) и Южного (в) полушарий, а также их соответствующие спектры (б, г, е)

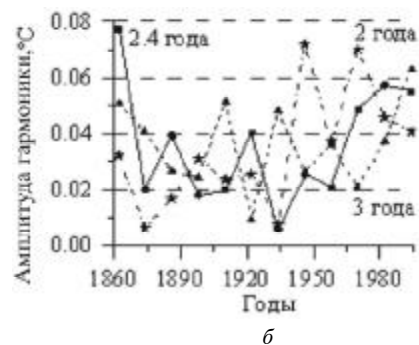
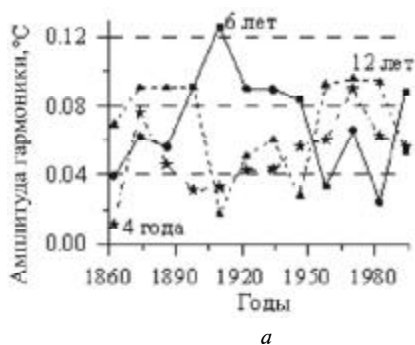


Рис. 2. Динамика амплитуд гармоник первичных спектров 12-летних отрезков ряда глобальных аномалий температуры воздуха за 150 лет (а, б)

между аргументами и функциями преобразований и составляет суть понятия нелинейности [12]. При этом фрактальные множества могут быть получены как предельные множества (аттракторы) нелинейных зависимостей, описывающие динамические системы. Одно из главных свойств фракталов — тот или иной вид самоподобия пространственно-временных процессов, т. е. их инвариантность относительно мультипликативных изменений масштаба наблюдений [13].

Математически фрактальные множества относятся к так называемым плохо обусловленным множествам, или гипермножествам (nowell-founded sets) [14]. Для них не выполняется классическая аксиома фундирования теории множеств — физически отсутствуют “атомы простоты”. Другими словами, все части любого исходного множества являются по смыслу его подмножествами, а не неделимыми элементами ( $\dots \in A_{n+1} \in A_n \dots \in A_1 \in A_0 \in A$ , где  $\in$  — знак принадлежности). Именно это и обеспечивает полноценное самоподобие фрактальных объектов, т. е. возможность постоянно наблюдать похожие неэлементарные картины, “заглядывая вглубь” объекта.

Последнее свойство относительно динамики внутриспектральной изменчивости изучаемых процессов реализуется с помощью метода ВСА. Предполагается, что функциональной траекторией изменчивости естественных процессов, обладающих периодическими или квазипериодическими волновыми свойствами, является круг, состоящий из меньших кругов, каждый из которых устроен подобным образом [5].

Это означает, что при спектральном преобразовании рядов измерений таких процессов динамика амплитуд получаемых гармоник также будет периодической или квазипериодической, т. е. следовать определенному ритму или группе ритмов. То же повторится для всех последующих уровней меньших кругов (спектры  $n$ -го порядка) с образованием системы самоподобных или вложенных ритмодинамических структур. Выявление такого свойства (ВСИ) у какого-либо процесса по сути указывает на существование фрактально-волновой

структуры его изменчивости (ФВСИ). В данной работе, в соответствии с длиной используемых рядов, из всех возможных уровней вложенности были представлены два.

На рис. 3 показаны поля изменчивости амплитуд гармоник первичных спектров рядов среднегодовых аномалий температуры воздуха для двух полушарий и планеты в целом. Анализ результатов обработки данных за 150 лет показал, что во всех вторичных спектрах исследуемых процессов есть гармоники-доминанты с периодами, близкими к 25 и 150 годам, а также к 50–75 годам. Это подтверждает наше предположение о том, что такие свойства, как ВСИ и ФВСИ, характерны для колебаний температуры воздуха и воды не только региональных [6, 7], но и планетарной климатических систем. Часть гармоник-доминант в группах периодичностей — общая для всех полученных спектров, часть — нет. Кроме того, в полученных вторичных спектрах обращает на себя внимание превышение в 1,5–2 раза амплитуды большинства гармоник Северного полушария в сравнении с Южным. Такая разница в ритмодинамике между полушариями планеты (см. рис. 2) совпадает с результатами анализа ритмодинамики температуры поверхности Атлантического океана по спутниковым данным [15].

То, что сложная, полифоническая структура изменчивости исследованных сигналов является следствием сочетания совокупности доминирующих циклов различных масштабов с характерными для них фрактально-волновыми свойствами такой изменчивости, можно показать не только методом ВСА, но и путем выделения отдельных периодичностей из исходных рядов традиционными методами фильтрации [16, 17]. Используем в качестве примера тот же ряд глобальных аномалий температуры воздуха за 150 лет и ряд температуры воздуха центральной Англии (1659–1973) [18], дополненный до 2005 г. (346 лет).

На рис. 4 показаны результаты обработки этих рядов с помощью фильтра скользящего среднего (ФСС) с периодами 20 и 10 лет соответственно. Низкочастотная (НЧ) компонента ряда глобальных аномалий температуры воздуха за 150 лет на

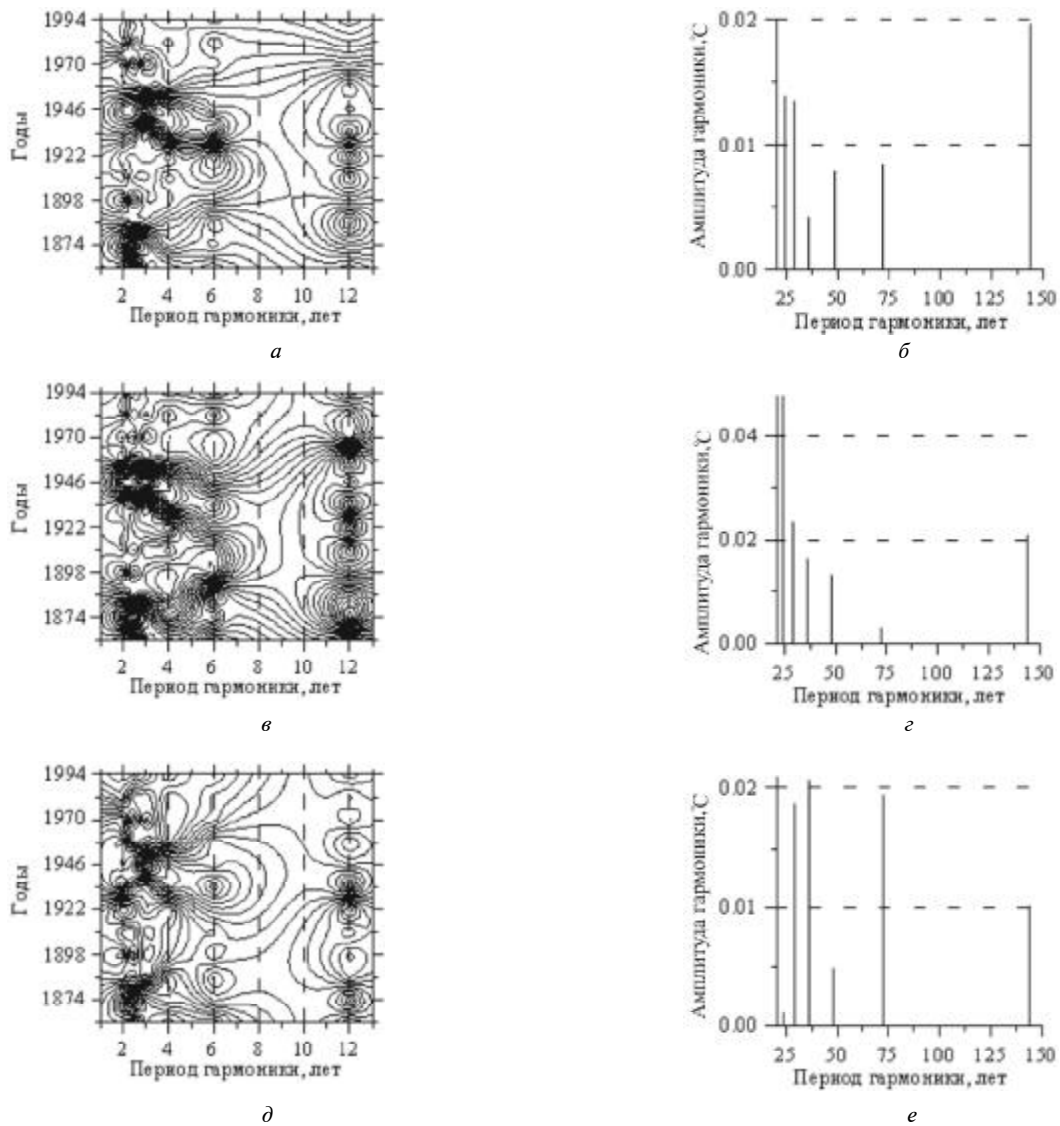


Рис. 3. Поля изменчивости амплитуд гармоник первичных спектров в зависимости от их периода и года отрезков рядов глобальных аномалий температуры воздуха за 150 лет (а), Северного (е) и Южного (д) полушарий, а также соответствующие вторичные спектры (б, з, е) динамики 6-й гармоники (период 2 года) первичных спектров

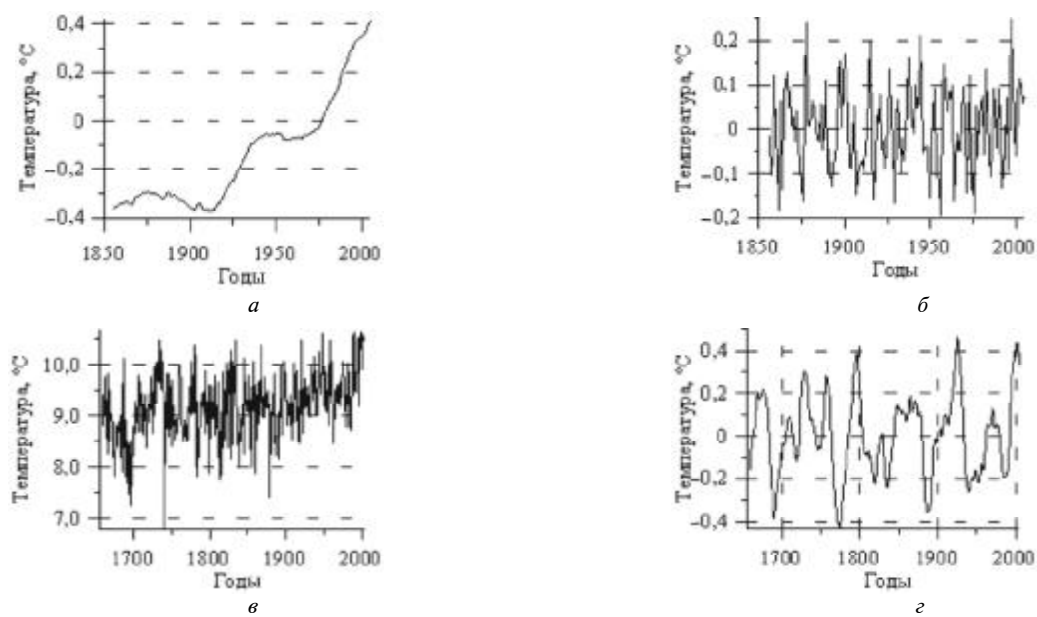


Рис. 4. Низкочастотные (а) и высокочастотные (б) составляющие ряда глобальных аномалий средней годовой температуры воздуха за 150 лет, выделенные ФСС с периодом 20 лет. Среднегодовая температура приземного воздуха центральной Англии (с) и результат последовательной фильтрации температуры полосовым фильтром в диапазоне 20 – 40 лет и ФСС с периодом 10 лет (д)

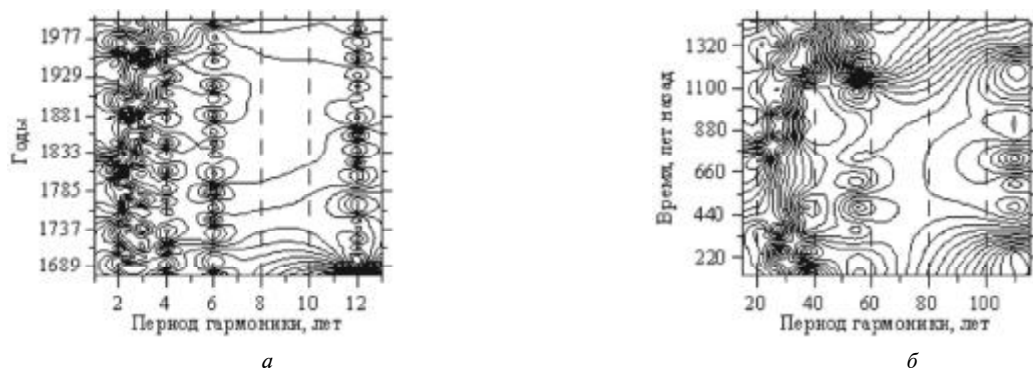


Рис. 5. Поля изменчивости амплитуд гармоник первичных спектров в зависимости от их периода и года отрезка анализируемого ряда для приземной температуры воздуха центральной Англии (а) и реконструкции зимней температуры воздуха в Гренландии по содержанию изотопа  $^{18}\text{O}$  в ядрах льда (б)

рисунок содержит очевидное колебание с периодом около 60–70 лет, а в спектре высокочастотной (ВЧ) составляющей выделяются доминанты с периодами около 5–6, 9–10, 15 и 20 лет. Для ряда температуры воздуха центральной Англии после его фильтрации характерна группа доминирующих колебаний, включающих тот же период 60–70 лет, а также периоды около 44 и 25–35 лет. Если для ряда температуры воздуха центральной Англии выполнить такую же процедуру ВСА, что и для ряда глобальных аномалий температуры воздуха, то полученная картина динамики амплитуд гармоник первичных спектров (рис. 5, а) будет аналогична представленной на рис. 3.

Тот же метод фильтрации дает возможность выявить основные тенденции современных изменений климата и на более протяженных отрезках времени. Как и в работе [5], используем для этого ряд реконструкции значений среднегодовых зим-

них температур воздуха в Северном полушарии, полученный по данным о содержании изотопа  $^{18}\text{O}$  в ледовых ядрах Гренландии за 550–1950 гг. [19]. На рис. 6 показаны результаты временной фильтрации данного сигнала ФСС с разными периодами. Использование фильтра с периодом 210 лет (рис. 6, в) позволяет увидеть картину квазипериодических осцилляций с периодом около 200–250 лет. Однако если обработать результаты такой фильтрации еще раз ФСС с периодом 50 лет, то получим фоновое длиннопериодное колебание с полупериодом порядка 1500 лет (рис. 6, г).

Максимум его положительного полупериода относится к 5–6 вв. н. э. – так называемый малый климатический оптимум в климатологии [20]. Максимум отрицательного полупериода относится к 19 в. (“малый ледниковый период”). На ближайшие 1200–1400 лет действие этого колебания будет, по-видимому, определять общий рост тем-

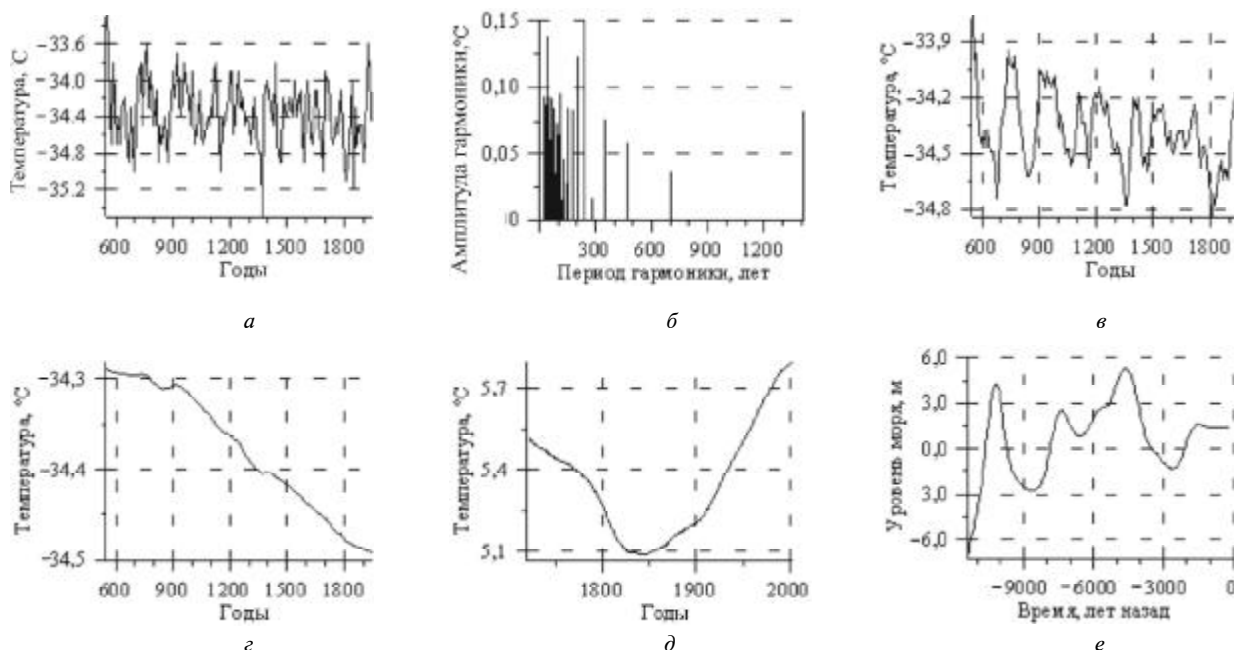


Рис. 6. Ряд реконструкции значений среднегодовых зимних температур воздуха в Северном полушарии: а – полученный по данным о содержании изотопа  $^{18}\text{O}$  в ледовых ядрах Гренландии за 550–1950 гг.; б – спектр ряда; в – НЧ-составляющая ряда после ФСС с периодом 210 лет; г – результат дополнительной обработки НЧ-составляющей ФСС с периодом 50 лет; д – НЧ-составляющая ряда средней годовой температуры воздуха за 283 года в Уппсале (Швеция) после ФСС с периодами 150 и 30 лет; е – кривая уровня моря Азово-Черноморского бассейна за последние 12 000 лет после фильтрации ФСС с периодами 5000 и 600 лет

пературы воздуха в Северном полушарии. Вторая активная доминанта, заметная в спектре исходного ряда, – колебание с периодом 40–45 лет. Обработка ряда методом ВСА дает картину динамики амплитуд гармоник первичных спектров, подобную описанным выше (см. рис. 5, б).

Локальный участок смены общей тенденции от похолодания (см. рис. 6, з) к потеплению (см. рис. 4, а) интересно рассмотреть более подробно. Для этого можно использовать, например, длинный ряд среднесуточных наблюдений температуры воздуха в Уппсале (Швеция) [21]. Если обработать среднегодовые значения ряда длиной 283 года последовательно ФСС с периодами 150 и 30 лет, то в результате получим кривую (рис. 6, д), хорошо совпадающую с кривыми на рис. 4, а и 6, з. Можно также представить примерный общий ход квазитрехтысячелетнего колебания, используя палеоэвстатическую кривую уровня моря Азово-Черноморского бассейна за последние 12 000 лет [22]. Результаты фильтрации последнего ряда ФСС с периодами 5000 и 600 лет показаны на рис. 6, е.

Таким образом, примерно 150-летний отрезок общего потепления на рис. 1, а (или рис. 4, а) и другие постоянно наблюдаемые на межгодовых масштабах чередующиеся периоды потепления и похолодания атмосферы и океана разной продолжительности в основном являются результатом сочетания не только этих трех, но и многих других групп колебаний с их общими свойствами [2–5 и др.]. Подобную полифоническую совокупность или, скорее, систему квазипериодических колебаний (циклов-волн), подчиняющихся закону октавы [23], с их описанными выше свойства-

ми можно рассматривать как средство передачи (трансформации) энергии и взаимодействий между разными масштабами изменчивости. Современное состояние представлений о турбулентности как о множестве разномасштабных линейных и нелинейных фрактальных волн достаточно близко к такому истолкованию [24]. Например, в статье [25] примерно так и рассматривается система поперечной циркуляции вод Черного моря – через сложную систему турбулентного обмена по каскаду разномасштабных вихревых образований.

В настоящее время достаточно много известно о взаимосвязях между состоянием солнечной активности, электромагнитосферы Земли и верхних, а также, опосредованно, нижних слоев атмосферы [8, 26]. Аналогичные связи описаны и для литосферы [27]. Однако в большинстве работ на эту тему по разным причинам не делалось попыток совместного (комплексного) анализа системы ритмов геофизических, гидрометеорологических и гидрофизических процессов для каких-либо регионов или планеты в целом. Вместе с тем выделение и сравнительный анализ отдельных колебаний из числа входящих в указанную выше полифоническую систему дают возможность увидеть сходство во временной ритмодинамике температуры приземного слоя атмосферы, параметров геомагнитного поля и чисел Вольфа, характеризующих солнечную активность.

На рис. 7 приведены результаты фильтрации ФСС рядов среднегодовых значений глобальных аномалий температуры воздуха за 1930–2003 гг., геомагнитного индекса  $K_p$  (1932–2000) и чисел Вольфа (1930–2003). Два последних ряда получены из базы данных SPIDR в Интернете (<http://>

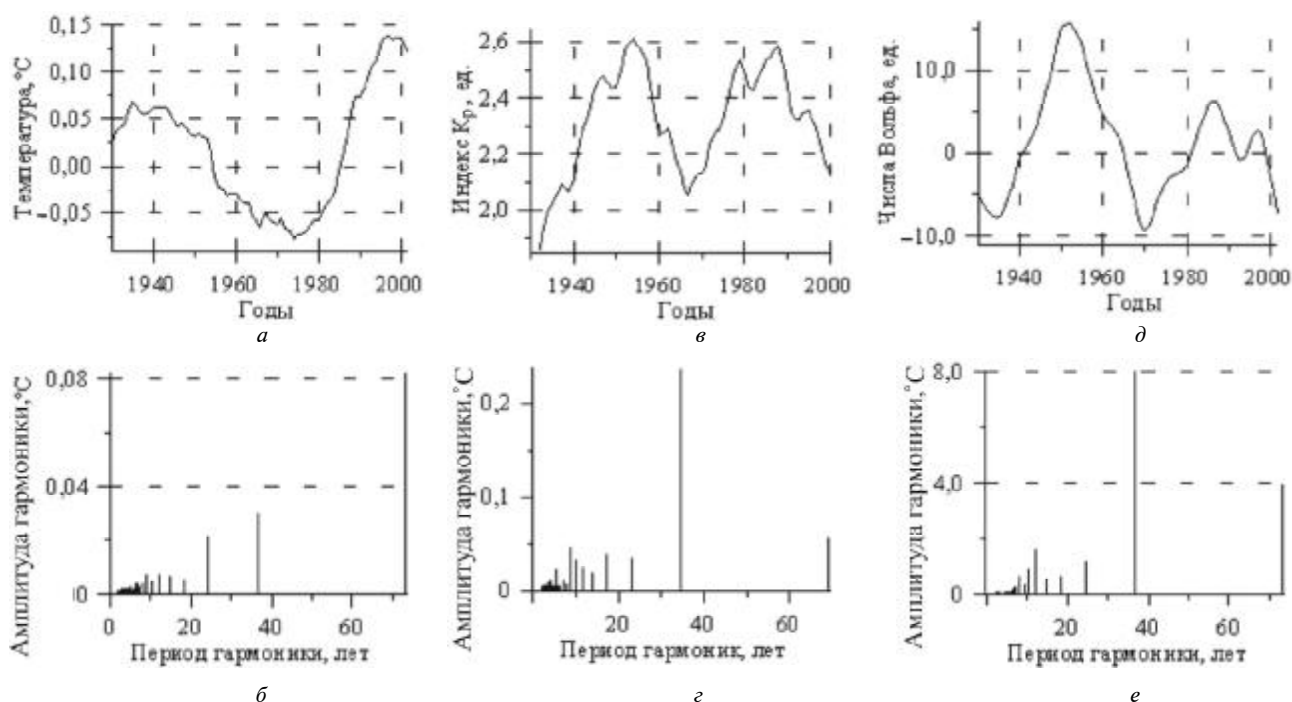


Рис. 7. НЧ-составляющие рядов среднегодовых значений глобальных аномалий температуры воздуха за 150 лет (а), геомагнитного индекса  $K_p$  (с), чисел Вольфа (д) после обработки ФСС с периодами 20–50, 12 и 20–50, 6 лет соответственно и спектры этих НЧ-составляющих (б, з, е)

zeus.wdcb.ru/spidr/). Для обработки рядов были использованы полосовой ФСС (ПФСС) в диапазоне 20–50 лет для температуры воздуха, ФСС с периодом 12 лет для индекса Кр и последовательно ПФСС в диапазоне 20–50 лет и ФСС с периодом 6 лет для чисел Вольфа. Разница в последовательности процедур фильтрации и периоде использованных фильтров неизбежно сказалась на фазах и форме выделенных колебаний [17]. Однако в первом приближении их можно считать практически синфазными. Соответственно, и в спектрах этих трех колебаний доминирует гармоника с периодом около 40 лет.

Таким образом, анализ указанных временных рядов, как и другие результаты авторов [4–7], свидетельствует в пользу высказанного в начале работы предположения: фрактально-волновые свойства (ВСИ и ФВСИ) характерны для колебаний температуры, а следовательно, и других геофизических параметров на межгодовых масштабах не только для отдельных пунктов наблюдений, а также региональных и глобальной климатических систем.

Все изученные авторами климатические сигналы следует рассматривать преимущественно как результат сочетания колебаний (циклов) различных временных масштабов с их фрактально-волновыми свойствами. Эти свойства и образуют их сложную, полифоническую структуру изменчивости. В работе [15] было предположено, что источником таких свойств временных рядов температуры на различных масштабах является пространственная ритмодинамика общепланетарного волнового поля поверхностной температуры – бегущие ортогональные тепловые волны.

1. *Schlesinger M.E., Ramankutty N.* An oscillation in the global climate system of period 65–70 years // *Nature*. – 1994. – **367**, № 6465. – P. 723–726.
2. *Jones P.D., New M., Parker D.E. et al.* Surface air temperature and its variations over the last 150 years // *Rev. of Geophysics*. – 1999. – **37**. – P. 173–199.
3. *Монин А.С., Сонечкин Д.М.* Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. – М.: Наука, 2005. – 191 с.
4. *Еремеев В.Н., Жуков А.Н., Сизов А.А.* Исследование особенностей ритмодинамики межгодовой изменчивости гидрометеорологических и гидрологических процессов в прибрежных зонах // *Докл. АН*. – 2006. – **409**, № 2. – С. 254–257.
5. *Еремеев В.Н., Жуков А.Н., Сизов А.А.* Фрактально-волновая структура изменчивости геофизических процессов морских систем // *Геоинформатика*. – 2006. – № 4. – С. 73–80.
6. *Еремеев В.Н., Баянкина Т.М., Жуков А.Н. и др.* О волновых свойствах пространственной изменчивости полей температуры воздуха в Северной Евразии на межгодовых масштабах // *Доп. НАН України*. – 2007. – № 1. – С. 111–116.
7. *Еремеев В.Н., Жуков А.Н., Лебедев Н.Е., Сизов А.А.* Пространственная анизотропия межгодовой изменчи-

ности температуры воды Черного моря (по спутниковым данным) // *Исследование Земли из космоса*. – 2007. – № 5. – С. 3–10.

8. *Хромов С.П.* Метеорология и климатология для географических факультетов. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 456 с.
9. *Folland C.K., Rayner N.A., Brown S.J. et al.* Global temperature change and its uncertainties since 1861 // *Geophys. Res. Lett.* – 2001. – **28**. – P. 2621–2624.
10. *Jones P.D., Moberg A.* Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001 // *J. Climate*. – 2003. – **16**. – P. 206–223.
11. *Долгаль А.С., Пугин А.В.* Фрактальный подход к аналитической аппроксимации потенциальных геофизических полей // *Геоинформатика*. – 2006. – № 2. – С. 34–39.
12. *Малинецкий Г.Г., Потанов А.Б.* Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: УРСС, 2000. – 336 с.
13. *Федер Е.* Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 261 с.
14. *Владимиров В.С., Волович И.В., Зеленов Е.И.* Р-адический анализ и математическая физика. – М.: Наука, 1994. – 352 с.
15. *Еремеев В.Н., Жуков А.Н., Сизов А.А.* Поле температуры поверхности Атлантики и его ритмодинамика на межгодовых масштабах // *Доп. НАН України*. – 2010. – № 6.
16. *Серебренников М.Г., Первозванский А.А.* Выявление скрытых периодичностей. – М.: Наука, 1965. – 244 с.
17. *Хэмминг Р.В.* Цифровые фильтры: Пер. с англ. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
18. *Manley G.* Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973 // *Quart. J. R. Soc.* – 1974. – **100**. – P. 389–405.
19. *Dansgaard W., Johnsen S.J. et al.* Climatic changes, Norsemen and modern man // *Nature*. – 1975. – **255**. – P. 24–28.
20. *Климатология*. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 267 с.
21. *Bergstrom H., Moberg A.* Daily air temperature and pressure series for Uppsala (1722 – 1998) // *Climate Change*. – 2002. – **53**. – P. 213–252.
22. *Колебания уровня морей и океанов за 15 000 лет*. – М.: Наука, 1982. – 230 с.
23. *Булгаков Н.П., Жуков А.Н., Сизов А.А.* Исследование общих групп устойчивых ритмов межгодовой изменчивости температуры воздуха и ряда других процессов в прибрежных зонах // *Доп. НАН України*. – 2004. – № 9. – С. 99–104.
24. *Фрик П.Г.* Турбулентность: модели и подходы: Курс лекций. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 1998. – Ч. 1. – 108 с; Ч. 2. – 136 с.
25. *Овчинников И.М., Титов В.Б., Кривошея В.Г., Попов Ю.И.* Основные гидрофизические процессы и их роль в экологии вод Черного моря // *Океанология*. – 1993. – **33**, № 6. – С. 801–807.
26. *Солнечно-атмосферные связи и геомагнитная активность* / Под ред. В.В. Михневич, Р.В. Смирнова: Сб. науч. тр. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 195 с.
27. *Белов С.В., Шестопалов И.П., Харин Е.П.* О взаимосвязях эндогенной активности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // *Докл. АН*. – 2009. – **428**, № 1. – С. 104–108.

*Поступила в редакцию 23.04.2010 г.*

*В.Н. Еремеев, А.Н. Жуков, А.А. Сизов*

### **ФРАКТАЛЬНО-ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МЕЖГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА РЕГИОНАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

На примере межгодовой, вековой и тысячелетней изменчивости некоторых геофизических параметров исследуются фрактально-волновые свойства региональных и планетарной климатических систем. Рассматривается возможность описания временной изменчивости этих систем с использованием модели полифонического фрактально-волнового вибратора.

**Ключевые слова:** климатические системы, межгодовая изменчивость, модель полифонического фрактально-волнового вибратора, температура воздуха.

*В.М. Єремєєв, О.М. Жуков, А.О. Сизов*

### **ФРАКТАЛЬНО-ХВИЛЬОВІ ВЛАСТИВОСТІ МІЖРІЧНИХ КОЛИВАНЬ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ РЕГІОНАЛЬНИХ І ГЛОБАЛЬНОЇ КЛІМАТИЧНИХ СИСТЕМ**

На прикладі міжрічної, вікової і тисячолітньої мінливості деяких геофізичних параметрів досліджено фрактально-хвильові властивості регіональних і планетарної кліматичних систем. Розглянуто можливість опису тимчасової мінливості цих систем з використанням моделі поліфонічного фрактально-хвильового вібратора.

**Ключові слова:** кліматичні системи, міжрічна мінливість, модель поліфонічного фрактально-хвильового вібратора, температура повітря.