

Гидрометеорология и экология. 2025. № 81. С. 607—622.

Hydrometeorology and Ecology. 2025;(81):607—622.

КЛИМАТОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.583

doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-607-622

О причинах экстремальных изменений климата планеты Земля на вековых и тысячелетних временных масштабах

Михаил Львович Арушанов

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт Ташкент, Узбекистан,
mikl-arushanov@rambler.ru

Аннотация. Дан обзор работ, посвящённых исследованию возможных причин катастрофических изменений климата на планете Земля. Главная причина таких изменений обусловлена воздействием внешнего фактора на солнечную систему в целом, т. е. галактического излучения повышенной интенсивности, действующего с определённой цикличностью и проявляющегося в изменении климатической системы планет. Выполнен анализ временных рядов реконструированной по соотношению изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}$ ледяных кернов температуры и диоксида углерода в Антарктиде и Гренландии за период 400×10^3 лет. С использованием спектрального и вейвлет-анализов установлено, что экстремальные изменения климата происходят с периодами кратными 12 000 лет и носят импульсный характер. На основе причинного анализа показано, что в палеоклиматическом масштабе изменение концентрации CO_2 происходит с запаздыванием ≈ 500 лет относительно температуры воздуха.

Ключевые слова: климатическая система, 12 000-летний цикл, температура воздуха, диоксид углерода, производство энтропии, галактические ударные волны.

Для цитирования: Арушанов М. Л. О причинах экстремальных изменений климата планеты Земля на вековых и тысячелетних временных масштабах // Гидрометеорология и экология. 2025. № 81. С. 607—622. doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-607-622.

CLIMATOLOGY

Original article

Causes of extreme climate change on planet Earth on Low-frequency time scales

Mikhail L. Arushanov

Scientific Research Hydrometeorological Institute Tashkent, Uzbekistan,
mikl-arushanov@rambler.ru

Summary. This paper reviews studies investigating the possible causes of catastrophic climate change on planet Earth. The authors of many studies, like the author of this article, believe that the primary cause

of such changes lies in the impact of an external factor on the solar system as a whole—increased galactic radiation, which acts in a certain cyclical manner and, as a result, manifests itself in changes in the planetary climate system.

A time series analysis of temperature and carbon dioxide data in Antarctica and Greenland, reconstructed from the oxygen isotope ratio $\delta^{18}\text{O}$ in ice cores, was performed over a period of 400×10^3 years. Using spectral and wavelet analyses, it was established that extreme climate changes occur with periods of multiples of 12,000 years and are impulsive in nature. A causal analysis has shown that, on a paleoclimatic scale, changes in CO_2 concentration occur with a lag of ≈ 500 years relative to air temperature dynamics. This lag period corresponds to the time of complete mixing of the upper (active) layer of the World Ocean.

Keywords: climate system, air temperature, carbon dioxide, entropy production, galactic shock waves, core displacement, 12,000-year cycle.

For citation: Arushanov Mikhail L. Causes of extreme climate change on planet Earth on Low-frequency time scales *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2025;(81):(607—622). doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-607-622 (In Russ.).

Введение

Климатическая система — сложная система с обратными связями, находящаяся под воздействием внешних (космических) и внутренних факторов, включающая атмосферу, гидросферу, биосферу, криосферу и литосферу, а также ядро Земли. Взаимодействие этих сфер определяет климат Земли и его изменчивость. Проблема современных изменений климата поставила задачу поиска фундаментальных причин экстремальных изменений климата на вековых и геологических временных масштабах.

На рис. 1 приведена динамика катастрофических явлений на планете Земля [1], начиная с 1900 г. и по настоящее время. Количество многих катастрофических явлений на планете Земля, начиная с 1998 г., стало возрастать по экспоненте. Геологическая история планеты свидетельствует, что Земля уже неоднократно переживала разные фазы глобального изменения климата. Важно отметить, что аналогичные изменения в климатической системе происходили и на других планетах.

Х. Генрих по реконструированным данным донных отложений морей, озёр и рек восстановил резкие скачки температуры за последние 130 тыс лет («события Генриха») [2]. Каждому такому циклу соответствуют кратковременные периоды оледенения, которым предшествовали резкие потепления на планете на 8—10 °C. Выполнив датировку «событий Генриха», С. Хемминг получила периодичность резких изменений температуры, в которой выделяются события 12 000-летнего цикла [3, 4].

Этот вывод подтверждается анализом периодичности таяния массивных ледников по углероду-14, выполненным Д. Вогтом [5]. По его расчётам период 12 068 лет проявляется и в солнечных циклах. Один солнечный цикл длится около 11,09 года, восемь таких интервалов, известных как цикл Гляйсберга [6], проявляющийся в вариациях интенсивности 11-летних циклов Швабе, имеют расчётную длительность 88,735 лет, а 136 циклов Гляйсберга дают число 12 068, которое следует считать циклом Вогта. Д. Вогт в работах [5, 7—9] показал, что период 12 068 лет экстремальных изменений климатических систем наблюдается также на планетах солнечной системы и связан, вероятно, с соответствующим периодом синхронных вспышек новых (но не сверхновых) звезд, невидимых с Земли.

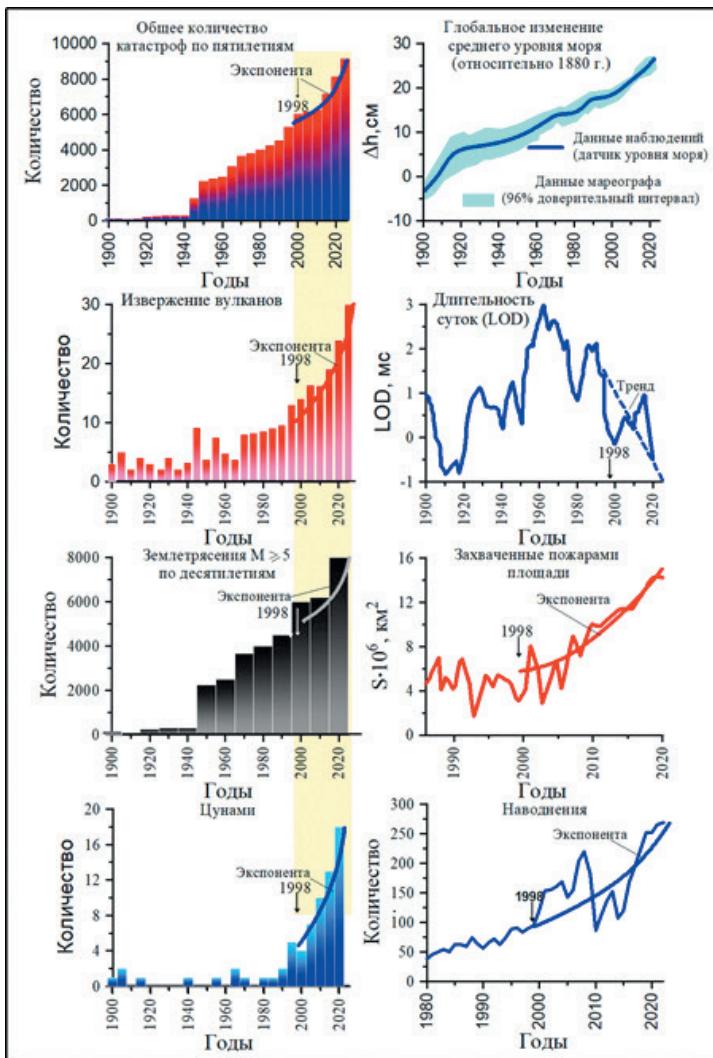


Рис 1. Динамика катастрофических явлений на планете Земля [1].

Fig. 2. Dynamics of catastrophic events on planet Earth [1].

Недавно по выполненным исследованиям на основе телескопа *Fermi Large Area Telescope* установлено, что многие классические новые звезды сопровождаются гигаэлектронвольтным γ -излучением, возникающим из-за сильных ударных волн [10—12].

Авторы в цикле работ [13—19], в отличие от подхода Д. Вогта, связывают возросшее число катастрофических явлений с пересечением планеты проекции галактического магнитного поля на плоскость эклиптики, влияющее на движение

заряженных частиц [15]. Делается упор на ускорение дрейфа магнитных полюсов, вызванного смещением ядра в 1998 г., ответственного за формирование магнитосферы Земли. Авторы ограничиваются рамками солнечной системы, уделяя основное внимание проявлению цикличности вариаций солнечной активности в цикличности геодинамических процессов, в частности землетрясений, и их прогнозу.

В пользу галактического фактора экстремального изменения климатической системы в настоящую эпоху выступают факты аналогичных изменений на планетах солнечной системы. Так, по данным работы [20] в настоящее время в эпицентре глобальных изменений находится Юпитер. По данным телескопа «Хаббл», «красные пятна» на Юпитере в настоящее время выступают над облаками. Это является индикатором повышения температуры Юпитера в этой области, что ранее не наблюдалось. Кроме того, участились вспышки аномально сильных молний и увеличилось количество извержений вулканов на спутнике Юпитера Ио.

На Венере, по данным орбитального аппарата *«Venus Express»*, выявлено 37 новых вулканических структур [21], хотя планетологи считали, что геологическая активность на Венере завершилась как минимум 800 млн лет назад. Как и на Земле, на Венере растёт магматическая активность. Скорость ветров после 1998 г. увеличилась с 300 до 400 км/час.

На планете Марс, начиная с 1998 г., наблюдаются усиления процессов, связанных с пыльными бурями, оползнями, магнитной аномалией, ростом сейсмической активности, таянием льда, нагреванием планеты [22], т.е. наблюдаются аналогичные изменения в климатической системе, происходящие на Земле.

После 1996 г. произошли глобальные перестройки в атмосфере Нептуна. Это связано с проникновением в нижние слои атмосферы галактических космических лучей, которые оказывают влияние на образования штормов и ураганов [22]. Начался стремительный прогрев планеты Уран и, как следствие, на ранее спокойной планете бушуют мощные штормы [22].

Что же явилось причиной наблюдаемых изменений в климате планет Солнечной системы? Очевидно, что синхронные изменения на планетах Солнечной системы могут быть вызваны только внешним фактором, которым, по мнению Богта, является воздействие галактического излучения. При этом такое воздействие, прежде всего, оказывается в смещении ядер планет (его скачке), зафиксированное в 1998 г. аппаратурой *DORIS*. В работе [23] показано, что влияние действия внешних факторов на Солнечную систему таково, что изменения климатических систем на планетах происходят синхронно. Солнце здесь не является исключением, а указанная синхронность проявляется в динамике солнечной активности.

Хотя в настоящее время достигнут большой прогресс в понимании изменений климата на основе физико-химических исследований атмосферных процессов и численного моделирования, фундаментальные причины их экстремальных изменений остаются под вопросом. Целью данной работы является подтверждение существования 12 000-летнего цикла экстремальных изменений климатической системы планет, в частности, планеты Земля, по данным временных рядов, восстановленных на основе изотопного анализа керна льда в Антарктиде и Гренландии температуры воздуха и концентрации CO_2 .

Данные и методы

В работе используются данные температуры приземного воздуха и диоксида углерода, реконструированные по соотношению изотопов кислорода O^{18} ¹ ледяных кернов в Гренландии (Гренландский проект ледяного керна (*North Greenland Ice Core Project – NGRIP*))² и Антарктиде [24—28]. Методы анализа динамики исследуемых характеристик основывались на использовании корреляционного, спектрального [29] и причинного [30, 31] анализов, вейвлет-преобразований [32]. Причинный анализ был разработан относительно недавно (90-е гг. прошлого столетия) и нашёл довольно широкое применение в решении прикладных задач геофизики [31, 33—38] и в прикладных задачах квантовой механики [39—42]. Однако он пока не нашел широкого применения в решении прикладных задач метеорологии, поэтому остановимся на нём несколько подробнее.

Пусть $X(t)$ и $Y(t)$ — два исследуемых процесса, реализация которых представляются временными рядами с равными синхронными временными отсчётаами $t = 1, 2, \dots, T$. При наличии причинной зависимости, необходимым условием которой является запаздывание, т.е. асимметричность событий, задача сводится к формализации этой асимметрии. Для этого рассматриваются шенноновские безусловные $H(X)$, $H(Y)$ и условные $H(X|Y)$, $H(Y|X)$ энтропии [43]:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^N P(X_i) \log_2 P(X_i), \quad H(Y) = -\sum_{j=1}^M P(Y_j) \log_2 P(Y_j), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} H(X|Y) &= -\sum_{j=1}^M P(Y_j) \sum_{i=1}^N P(X_i | Y_j) \log_2 P(X_i | Y_j), \quad H(Y|X) = \\ &= -\sum_{i=1}^N P(X_i) \sum_{j=1}^M P(X_i | Y_j) \log_2 P(Y_j | X_i), \end{aligned} \quad (2)$$

где $P(X_i)$, $P(Y_j)$ — безусловные вероятности i -го (j -го) уровней процессов X и Y соответственно; $P(X_i|Y_j)$, $P(Y_j|X_i)$ — соответствующие условные вероятности.

Тогда с учётом (1) и (2) условная α и безусловная β асимметрии запишутся в виде:

$$\alpha = \frac{H(Y)}{H(X)}, \quad 0 \leq \alpha \leq \infty, \quad \beta = \frac{H(Y|X)}{H(X|Y)}, \quad 0 \leq \beta \leq \infty. \quad (3)$$

Далее вводим функцию независимости i :

$$i_{Y|X} = \frac{H(Y|X)}{H(Y)}, \quad i_{X|Y} = \frac{H(X|Y)}{H(X)}, \quad 0 \leq i \leq 1. \quad (4)$$

¹ Содержание изотопа кислорода O^{18} выражается как отклонение отношения изотопов O^{18}/O^{16} в образце от стандартного соотношения, выраженное в промилле.

² Реализация проекта началась недалеко от центра Гренландии с бурения в 1999 г., которое было завершено в коренных породах в 2003 г.

Легко видеть, что выражения (4) определяют односторонние зависимости процессов. Действительно, при $i_{Y|X} = 1$ Y не зависит от X , при $i_{Y|X} = 0$ Y является однозначной функцией X . Равенству между независимостями может соответствовать предельный случай $i_{Y|X} = 1 \Leftrightarrow i_{X|Y} = 1$.

И, наконец, вводится функция причинности Υ :

$$\Upsilon = \frac{i_{Y|X}}{i_{X|Y}}, \quad 0 \leq \Upsilon \leq \infty. \quad (5)$$

Очевидный смысл функции причинности Υ вытекает из ее предельных значений:

- $\Upsilon = 0$ — предельно необратимый процесс $X \rightarrow Y$, Y является однозначной функцией X , но не наоборот;
- $\Upsilon = 1$ — отсутствие какой-либо причинной связи между X и Y ;
- $\Upsilon = \infty$ — предельно необратимый процесс $Y \rightarrow X$, X является однозначной функцией Y , но не наоборот.

Классификация любых типов взаимосвязи процессов X и Y наглядно представлена на энтропийной диаграмме в координатах α, β (рис. 2). Аналогично, анализируя предельные случаи и принимая во внимание обратимость информации

$$I = H(Y) - H(Y|X) = H(X) - H(X|Y),$$

получаем все возможные области взаимосвязи, отображённые на рис. 2:

1. Запрещённые области:

- область $\alpha < 1, \Upsilon \geq 1$;
- область $\alpha > 1, \Upsilon \leq 1$;
- область $\beta = 1$, за исключением линии пересечения с плоскостью $\alpha = 1$;
- плоскость $\alpha = 1$ за исключением линии пересечения с плоскостью $\beta = 1$ и линии пересечения с плоскостью $i_{Y|X}$;
- $\beta = 0$ за исключением отрезка оси $\alpha[0, 1]$ и оси $i_{Y|X}$;
- плоскость $\alpha = 0$ за исключением оси $i_{Y|X}$;
- плоскость $i_{Y|X} = 0$ за исключением линии $\Upsilon = 1$ и отрезка оси $\alpha[0, 1]$;
- плоскость $i_{Y|X} = 1$ за исключением линии $\Upsilon = 1$;
- плоскость $\Upsilon = 1$ за исключением оси $i_{Y|X}$, линии $i_{Y|X} = 1$ и линий $\alpha = 1, \beta = 1$.

2. Разрешённые области:

- область нормальной причинности $\Upsilon < 1, \alpha < 1, \beta < 1$;
- область обращённой причинности $\Upsilon > 1, \alpha > 1, \beta > 1$;
- линия $Y = \text{const}$ независимо от X ;
- линия однозначных функций $i_{Y|X} = 0, \beta = 0, 0 < \alpha < 1$. В этой области Y однозначно определяется X , но не наоборот, $H(Y|X) = 0$.
- линия независимости $i_{Y|X} = 1, \Upsilon = 1$;
- взаимно-однозначная точка $i_{Y|X} = 0, \alpha = \beta = 1$;



Рис. 2. Энтропийная диаграмма типов взаимосвязи процессов.

Fig. 2. Entropy diagram of types of process relationships.

- адиабата $\alpha = \beta = 1$, т.е. изоэнтропический процесс (процесс, происходящий при постоянной энтропии).

Определение: Процесс X является причиной, а процесс Y — следствием тогда и только тогда, когда их реализация дает значение функции причинности $Y < 1$. При $Y > 1$ имеет место обращённая причинность, при $Y = 1$ причинная связь между процессами X и Y отсутствует.

В работах [1, 44] автором данной статьи на основе теоремы И. Пригожина [45] о минимальном производстве энтропии неравновесной системы, находящейся в стационарном состоянии, доказанной с учетом соотношения Л. Онзагера [46], а также опираясь на работы М. Н. Изакова [47, 48], введена количественная характеристика климата — *производство энтропии*:

$$\delta(S) = \int_0^z \left[-\frac{1}{T} (div f_{\odot} + div f_T) + \frac{4}{3} \left(\frac{div f_{\odot}}{T_{\odot}} + \frac{div f_T}{T} \right) \right] dz, \quad (6)$$

где f_{\odot}, f_T — потоки солнечной и излучённой радиаций, T_{\odot}, T — их температуры. В качестве единицы изменения состояния климатической системы введена единица «change» (ch): $1 \text{ ch} = 0,1 \text{ Вт}/\text{м}^2 \times \text{К}$.

Обсуждение результатов

Автором были выполнены расчеты энтропии климатической системы Земли за период 1659—2025 гг. На рис. 3 приведена динамика производства энтропии климатической системы планеты за этот период. Как видно из рисунка, в течение последних 366 лет в климатической системе планеты наблюдаются 7 переходных периодов различной продолжительности. Отличительная особенность первой

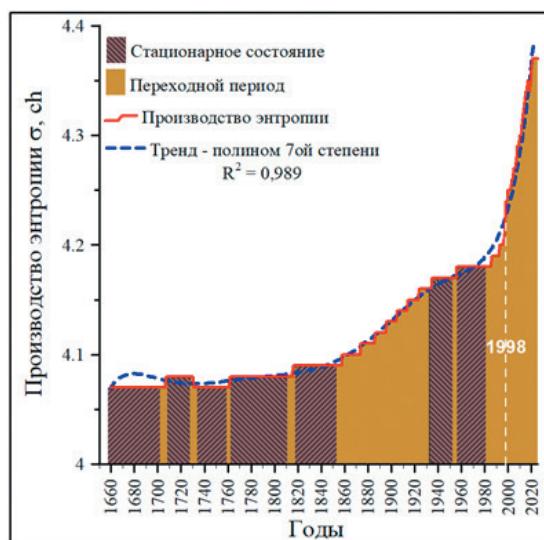


Рис. 3. Производство энтропии климатической системы за 366-летний период.

Примечание: 1998 г. — экспоненциальный рост производства энтропии.

Fig. 3. Entropy production of the climate system over a 366-year period.

Note: 1998 is the beginning of the exponential growth of the number of catastrophic events on the Planet.

половины периода (около 180 лет) состоит в том, что стационарные состояния более продолжительные, чем переходные. И наоборот, вторая половина характеризуется длительными переходными периодами и непродолжительными стационарными состояниями. Рост производства энтропии климатической системы, начиная с 1998 г., начал расти по экспоненте (рис. 3). В среднем продолжительность стационарных состояний составляет около 30 лет, что соответствует принятой в метеорологии длине базисного периода, по которому вычисляется норма метеорологической величины [49].

На основе динамики производства энтропии климатической системы, определяемой по формуле (6), была выполнена формализация понятия «Климат» для масштабов вековых и тысячелетних изменений.

Определение: «Климат — это открытая периодически меняющаяся термодинамическая система, сохраняющая состояние стационарности или близкое к нему на определенных интервалах времени, мерой изменчивости которой является производство энтропии».

Выполненный автором анализ временных рядов реконструированной температуры по соотношению изотопов кислорода O^{18} ледяных кернов позволил выявить в спектре колебаний температуры, построенном по реконструированным данным стотысячелетних и более временных рядов, колебания с периодом кратным 12 000 лет (рис. 4). В соответствии с работой Богта [4], выделяются колебания с периодом 96, 24 тыс. лет.

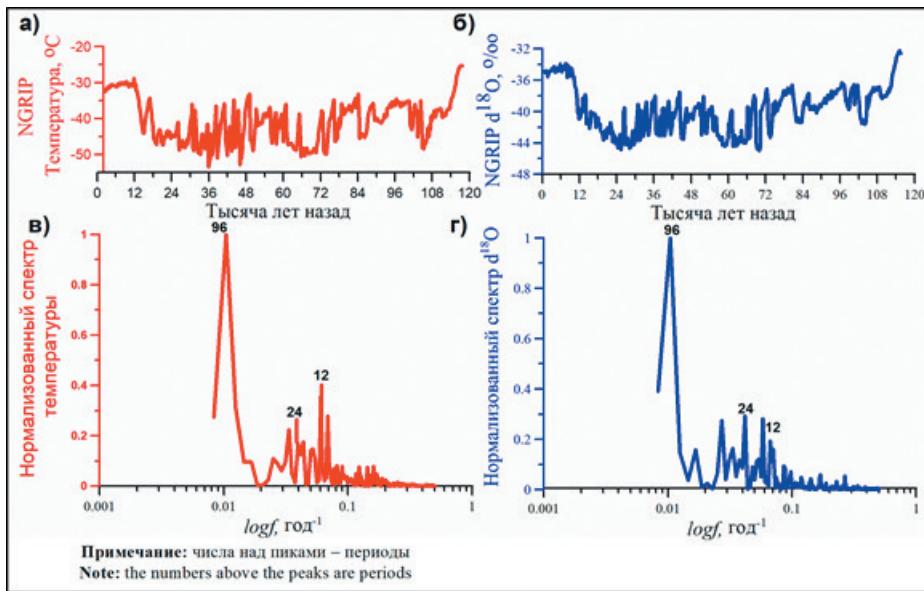


Рис. 4. Временной ход и спектры Фурье реконструированной в Гренландии температуры (а) и диоксида углерода (б).

Fig. 4. Time course and Fourier spectra of reconstructed temperature (a) and carbon dioxide (b) in Greenland.

Аналогичный результат даёт реконструированная по соотношению изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}$ ледяных кернов температура в Антарктиде на временном периоде 400×10^3 лет. Данный ряд был подвержен вейвлет-анализу (рис. 5). В амплитудной вейвлет-функции чётко прослеживаются устойчивые колебания на частоте, соответствующей периодам, кратным 12 000 лет. В спектре Фурье абсолютный максимум колебаний приходится на 96×10^3 лет, в то время как в вейвлет-спектре — на 84×10^3 лет. Эта связано с заданными граничными значениями коэффициентов a, b в вейвлет-преобразовании [32].

Наличие сверхдлинных временных рядов температуры воздуха и концентрации CO_2 позволяет выполнить причинный анализ этих рядов в палеоклиматическом масштабе времени. На рис. 6 приведен временной ход реконструированных температуры и диоксида углерода в Гренландии и Антарктиде. Как следует из рис. 6, изменение концентрации CO_2 относительно изменения температуры воздуха происходит с запаздыванием примерно на 500 лет. Это запаздывание отчетливо выражено в их кросс-корреляционной функции как функции временного сдвига, в соответствии с которой максимум корреляции приходится на временной лаг $\Delta t \approx 500$ лет. Таким образом, в рассматриваемых масштабах времени изменение концентрации диоксида углерода происходит вслед за изменениями температуры воздуха, а не наоборот. Функция причинности (рис. 6 в), как функция временного сдвига, находится в области нормальной причинности с минимумом $\gamma_{\min} = 0,714$

КЛИМАТОЛОГИЯ

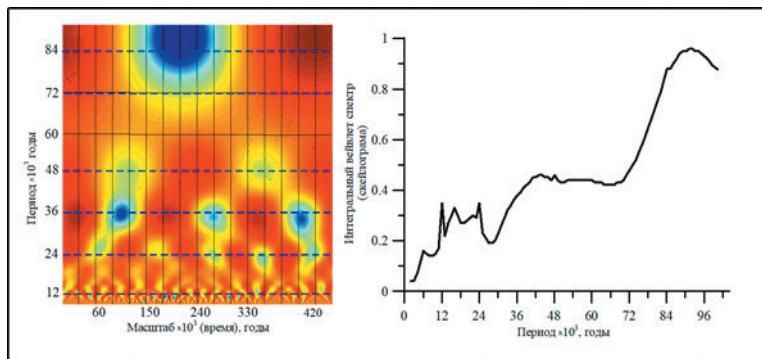


Рис. 5. Амплитудная вейвлет-функция (слева) и интегральный вейвлет спектр (скейлограмма — справа) температуры воздуха, восстановленные по изотопному анализу δO^{18} антарктического ледяного щита.

Примечание: синие пунктирные линии показывают устойчивость во времени максимума спектра на фиксированных частотах, кратных 12 000-летнему циклу колебаний температуры.

Fig. 5. The amplitude wavelet function (left) and the integral wavelet spectrum (scalegram — right) of air temperature, reconstructed from the isotopic analysis of δO^{18} of the Antarctic ice sheet.

Note: the blue dotted lines show the stability over time of the spectrum maximum at fixed frequencies, multiples of the 12,000-year cycle of temperature fluctuations.

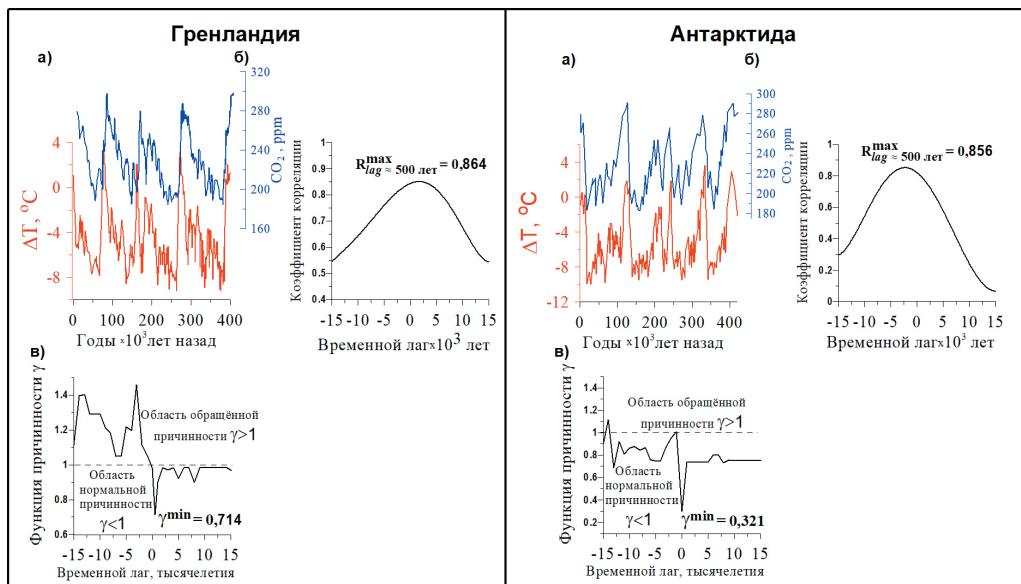


Рис. 6. Временной ход реконструированных температуры и диоксида углерода (а), их кросс-корреляционная (б) и функция причинности (в) как функции временного сдвига.

Fig. 6. Time course of reconstructed temperature and carbon dioxide (a), their cross-correlation (b) and causality function (c), as functions of the time shift.

для Гренландии и $\gamma_{\min} = 0,321$ для Антарктиды. Интересно отметить, что причинная связь между температурой воздуха и диоксидом углерода в Антарктиде более чем в два раза сильнее относительно таковой в Гренландии.

Что касается причинных связей между температурой и концентрацией CO_2 для короткопериодных (внутривековых) изменений климата, то этот вопрос требует специального обсуждения и выходит за рамки данной статьи.

Выводы

В результате исследования временных рядов реконструированной температуры в Антарктиде и Гренландии на основе спектрального и вейвлет-анализов были установлены 12 000-летние колебания климата и выявлены циклы, кратные 12×10^3 лет. Главенствующим генератором катастрофических климатических изменений на протяжении эволюции Земли выступает галактический фактор воздействия на солнечную систему с колебаниями на частотах, кратных периоду 12 000 лет. Астрофизикам и космологам предстоит ещё выяснить природу физической сущности этих циклов.

На планетах солнечной системы, в частности планете Земля, это воздействие, в первую очередь, проявляется в изменении физического состояния ядра планеты, проявляющегося в скачке и, как следствие, в изменении его электромагнитного поля, магнитного поля Земли, скорости вращения Земли (прецессия, длительность суток). Смещение ядра Земли вызывает активизацию магмы, вследствие чего повышается выделение геотермального тепла, что, возможно, является причиной таяния ледников «снизу» (западная часть Антарктиды). В совокупности все эти факторы проявляются в глобальном экстремальном изменении климатической системы планеты Земля.

Анализ временной серии реконструированных температуры и диоксида углерода в Гренландии и Антарктиде с использованием функции причинности позволил установить, что на палеоклиматическом масштабе изменение концентрации CO_2 относительно изменения температуры воздуха происходит с запаздыванием около 500 лет, которое близко к времени полного перемешивания верхнего (активного) слоя воды в Мировом океане [50].

Список литературы

1. Арушанов М. Л. Динамика климата. Космические факторы. Hamburg: Lambert Academic Publishing. 2023. 144 с.
2. Heinrich H. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years // Quaternary Research. 1988. Vol. 29. No. 2. P. 142—152. DOI: 10.1016/0033-5894(88)90057-9.
3. Hemming S. R., Broecker W. S., Sharp W. D. et. al. Provenance of Heinrich layers in core V28-82, northeastern Atlantic: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of ice-rafterd hornblende, Pb. isotopes in feldspar grains, and Nd-Sr-Pb isotopes in the fine // Earth and Planetary Science Letters. 1998. Vol. 164. No. 1—2. P. 317—333. DOI: 10.1016/S0012-821X(98)00224-6.
4. Hemming S. R., The relationship of Heinrich events and their European precursors over the past 60 ka BP: a multi-proxy ice-rafterd debris provenance study in the North East Atlantic // Quaternary Science Reviews. 2007. Vol. 26. №7—8. P. 862—875. DOI: 10.1016/j.quascirev.2006.12.002.

5. Vogt D. On the real causes of climate change. Электронный ресурс: сайт. URL: [<https://www.youtube.com/>] (дата обращения: 07.05.2022).
6. Наговицын Ю. А. Глобальная активность Солнца на длительных временах // Астрофизический бюллетень. 2008. Том 63. № 1. С. 45—58.
7. Vogt D. B., Sultan G. Reality revealed : the theory of multidimensional reality. Сан-Хоце: Vector Associates. 1978. 460 р.
8. Vogt D. B. God's Day of Judgment: The Real Cause of Global Warming. Michigan: Vector Associates, 2007. 488 р.
9. Vogt D. B. The Theory of Multidimensional Reality. Michigan: Vector Associates. 2015. 104 р.
10. Li K., Metzger B. D., Chomiuk L. et. al. A nova outburst powered by shocks // Nature Astronomy. 2017. No. 1. P. 697—702. DOI: 10.1038/s41550-017-0222-1.
11. Ackermann M., Hansen W., Tiepolo G. B. et al. Fermi establishes classical novae as a distinct class of gamma-ray sources // Science. 2014. No. 345. P. 554—558. DOI: 10.1126/science.1253947.
12. Cheung C. C. Jean P., Shore S. N. et al. Fermi-LAT gamma-ray detections of classical novae V1369 Centauri 2013 and V5668 Sagittarii 2015 // Astrophysical Journal. 2016. No. 826. P. 3—12. DOI: 0.3847/0004-637X/826/2/142.
13. Fischer H., Wahlen M., Smith J. et al. Ice core records of atmospheric CO₂ around the last three glacial terminations // Science. 1999. No. 283. P. 1712—1714.
14. Khalilov E. N. Global geological and environmental change: threatening the stable development civilization // Proceedings of the International Congress «Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization». Istanbul, 19—21 September, 2011. London, SWB. 2012. P. 13—23.
15. Khalilov E. N. GEOCHANGE: Problems of global changes of the geological environment, Vol. 1. SWB. London-Munich: 2010. P. 139—150.
16. Хайн В. Е., Халилов Э. Н. Цикличность геодинамических процессов и её возможная природа. М.: Научный мир. 2009. 521 с.
17. Хайн В. Е., Халилов Э. Н. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности. Burgas: SWB, 2008. 304 с.
18. Хайн В. Е. Взаимодействие атмосферы, биосфера и литосфера – важнейший процесс в развитии Земли // Вестник РАН. 2007. Том 77. №9. С. 784—810. DOI: 10.1134/S1028334X0705001X.
19. Халилов Э. Н. Гравитационные волны и геодинамика. Баку-Берлин-Москва: ЭЛМ-МСР /МАН. 2004. 331 с.
20. Wong M. H., Marcus P. S., Simon A. A. et. al. Evolution of the Horizontal Winds in Jupiter's Great Red Spot From One Jovian Year of HST/WFC3 Maps // Geophysical Research Letters. 2021. No. 10. P. 3—13. DOI: e2021GL093982.
21. Herrick R., Hensley S. Surface changes observed on a Venusian volcano during the Magellan mission // Science. 2023. P. 1205—1208. DOI 10.1126/science.abm7735.
22. Изменения климата на планетах солнечной системы. Факты синхронного изменения климата на планетах Солнечной системы. Электронный ресурс: сайт. URL: [<https://aftershock.news/?q=node/1204870&full>] (дата обращения: 18.01.2022).
23. Barkin Yu. V. Explanation of some planetary natural phenomena // Proceedings of the XVIII International Scientific Conference on Marine Geology. 2009. No. 5. P. 215—218.
24. Neukom R., Barboza L. A., Erb M. P. et. al. Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era // Nature Geoscience. 2019. No. 12. P. 643—649. DOI: 10.1038/s41561-019-0400-0.
25. Jouzel J., Masson-Delmotte V., Cattani O. et al. Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years // Science. 2007. No. 317. P. 793—796. DOI: 10.1126/science.1141038.
26. EPICA community members Eight glacial cycles from an Antarctic ice core // Nature. 2004. No. 429. P. 623—628.
27. Grootes P. M., Stuvier, J. W. White, S. J. et al. Comparison of oxygen isotope records from GISP2 and GRIP Greenland ice cores // Nature. 1993. No. 366. P. 552—554. DOI: 10.1038/366552a0.
28. Dansgaard W., Johnsen S. J., Clausen et al. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record // Nature. 1993. No. 364. P. 218—220. DOI: 10.1038/366552a0.
29. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Том. 1, 2. М.: Mir. 1971.

30. Арушанов М. Л., Коротаев С. М. Поток времени как физическое явление. Философские науки / Деп. ВИНИТИ N7598-B89. 1989. 42 с.
31. Арушанов М. Л., Коротаев С. М. Причинный анализ и его применение для изучения физических процессов в атмосфере // Метеорология и гидрология. 1994. № 6. С. 15—22.
32. Арушанов М. Л. Практические вопросы использования вейвлет-преобразования в метеорологии. Ташкент: НИГМИ. 2015. 50 с.
33. Арушанов М. Л., Горячев А. М. Эффекты причинной механики в метеорологии. Ташкент: НИГМИ. 2003. 102 с.
34. Арушанов М. Л. О необходимости учета эффектов причинной механики в гидродинамических моделях прогноза и климата // Доклады АН РУ. 2002. №6. С. 28—29.
35. Коротаев С. М., Киктенко Е. О. Причинный анализ квантовых запутанных состояний. Ч. 1 // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2010. Сер. 38. № 3. С. 35—55.
36. Коротаев С. М. О возможности причинного анализа геофизических процессов // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32. С. 27—33.
37. Коротаев С. М., Шабелянский С. В., Сердюк В. О. Обобщенный причинный анализ и его применение для изучения электромагнитного поля в море // Известия РАН. Физика Земли. 1992. № 6. С. 77—86.
38. Коротаев С. М., Хачай О. А., Шабелянский С. В. Причинный анализ процесса горизонтальной информационной диффузии электромагнитного поля в океане // Геомагнетизм и аэрономия. 1993. Т. 33. С. 128—133.
39. Коротаев С. М., Киктенко Е. О. Причинный анализ квантовых запутанных состояний. Ч. 2 // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2010. Сер. 39. № 3. С. 29—47.
40. Kiktenko E. O., Korotaev S. M. Causal analysis of a symmetric entangled states under decoherence // Phys. Lett. A., 2012. Vol. 6—7. P. 820—823. DOI: 10.1016/j.physleta.2012.08.028.
41. Коротаев С. М., Морозов А. Н. Нелокальность диссипативных процессов – причинность и время. М.: Физматлит. 2018. 216 с.
42. Киктенко Е. О., Коротаев С. М., Федоров А. К., Юрченко С. О. Причинный анализ запутанных состояний в томографическом представлении квантовой механики // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». 2012. №5 (5). С. 75—85.
43. Шенонн К. Работы по теории информации и кибернетике. М: Изд. Иностр. лит. 2002. 827 с.
44. Арушанов М. Л. Естественные причины современного изменения климата планеты. Hamburg: Lambert Academic Publishing. 2012. 175 с.
45. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. М: Иностр. лит. 1960. 156 с.
46. Onsager L. Reciprocal relations in irreversible processes // Phys. Rev. 1931. Vol. 37. P. 405—426.
47. Изаков М. Н. Самоорганизация и информация на планетах и в экосистемах // Успехи физических наук. 1997. Т. 167. № 10. С. 1087—1094. DOI: //doi.org/10.3367/UFNr.0167.199710e.1087.
48. Изаков М. Н. О возможности измерения со спутников притока радиационной негэнтропии на Землю для экологических исследований // Исследование Земли из космоса. 1991. №4. С. 3—15.
49. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология. М.: МГУ. 2006. 567 с.
50. Сорохтин О. Г. Эволюция климатов Земли. Электронный ресурс: сайт. URL: [https://fiz.1sept.ru/article.php?ID=200700907]. (дата обращения: 16.12.2024).

References

1. Arushanov M. L. *Dinamika klimata. Kosmicheskie factory = Climate dynamics. Cosmic factors*. Hamburg: Lambert Academic Publishing. 2013: 144 p. (In Russ.).
2. Heinrich H. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary Research*. 1988; 29(2): 142—152. DOI: 10.1016/0033-5894(88)90057-9.
3. Hemming S. R., Broecker W. S., Sharp W. D. et. al. Provenance of Heinrich layers in core V28-82, northeastern Atlantic: 40Ar/39Ar ages of ice-rafted hornblende, Pb. isotopes in feldspar grains, and Nd-Sr-Pb isotopes in the fine *Earth and Planetary Science Letters*. 1998; 164 (1—2): 317—333. DOI: 10.1016/S0012-821X(98)00224-6.

4. Hemming S. R. The relationship of Heinrich events and their European precursors over the past 60 ka BP: a multi-proxy ice-raftered debris provenance study in the North East Atlantic. *Quaternary Science Reviews*. 2007; (26): 862—875. DOI: 10.1016/j.quascirev.2006.12.002.
5. Vogt D. On the real causes of climate change. site. URL: [<https://www.youtube.com/watch?v=M2qOy-8Mwwac.>] (access date: 12.11.2022). (In Russ.).
6. Nagovitsyn Yu. A. Global activity of the Sun over long periods of time. *Astrofizicheskiy byulleten = Astrophysical Bulletin*. 2008; 63(1): (45—48). (In Russ.).
7. Vogt D. B., Sultan G. Reality revealed: the theory of multidimensional reality. San Jose. Vector Associates. 1978: 460 p.
8. Vogt D. B. God's Day of Judgment: The Real Cause of Global Warming. Michigan. Vector Associates. 2007: 488 p.
9. Vogt D. B. The Theory of Multidimensional Reality. Michigan. Vector Associates. 2015: 104 p.
10. Li K., Metzger B. D., Chomiuk L. et. al. A nova outburst powered by shocks. *Nature Astronomy*. 2017; (1): 697—702. DOI: 10.1038/s41550-017-0222-1.
11. Ackermann M., Hansen W., Tiepolo G. B. et al. Fermi establishes classical novae as a distinct class of gamma-ray sources. *Science*. 2014; (345): 554—558. DOI: 10.1126/science.1253142.
12. Cheung C. C., Jean P., Shore S. N., Stawarz L. et al. Fermi-LAT gamma-ray detections of classical novae V1369 Centauri 2013 and V5668 Sagittarii 2015. *Journal Astrophysical*. 2016; (826): 3—12. DOI: 10.1126/science.1253142.
13. Fischer H., Wahlem M., Smith J., Mastroianni D., Deck B. Ice core records of atmospheric CO₂ around the last three glacial terminations. *Journal Science*. 1999; (283): 1712—1714.
14. Khalilov E. N. Global geological and environmental change: threatening the stable development civilization. Proceedings of the International Congress «Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization». Istanbul, 19-21 September, 2011. London, SWB: 2012; 13—23.
15. Khalilov E. N. *GEOCHANGE: Problems of global changes of the geological environment*, (1). SWB, London-Munich. 2010; 139—150.
16. Khain V. E., Khalilov E. N. *Ciklichnost geodinamicheskikh processov i ee vozmo;naya Priroda = Cyclicity of geodynamic processes and its possible nature*. Moskva.: Nauchny mir. 2009: 521 p. (In Russ.).
17. Khain V. E., Khalilov E. N. *Prostranstvenno-vremennye zaconovthycnb seysmicheskoy i vulkanicheskoy aktivnosti = Spatio-temporal patterns of seismic and volcanic activity*. Burgas: SWB, 2008: 304 p. (In Russ.).
18. Khain V. E. The interaction of the atmosphere, biosphere and lithosphere is the most important process in the development of the Earth. *Vestnik RAN = Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2007; 77(9): (784—810).
19. Khalilov E. N. *Gravitacionnye volny i geodinamika = Gravity waves and geodynamics*. Baku-Berlin-Moskva: ELM. MCHP/MAH. 2004: 331 p.
20. Wong M. H., Marcus P. S., Simon A. A. et al. Evolution of the Horizontal Winds in Jupiter's Great Red Spot From One Jovian Year of HST/WFC3 Maps. *Journal Geophysical Research Letters*. 2021; (10): 1—10. DOI: e2021GL093982.
21. Herrick R., Hensley S. Surface changes observed on a Venusian volcano during the Magellan mission. *Science*. 2023; 1205—1208. DOI: 10.1126/science.abm7735.
22. Climate changes on the planets of the solar system. Facts of synchronous climate change on the planets of the solar system. site. URL: [<https://aftershock.news/?q=node/1204870&full>]. (access date: 10.04.2022). (In Russ.).
23. Barkin Yu. V. Explanation of some planetary natural phenomena. Proceedings of the XVIII International Scientific Conference on Marine Geology. 2009; (5): 215—218.
24. Neukom R., Barboza L. A., Erb M. P. et. al. Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. *Journal Nature Geoscience*. 2019; (12): 643—649. DOI: 10.1038/s41561-019-0400-0.
25. Jouzel J., Masson-Delmotte V., Cattani O. et al. Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. *Journal Science*. 2007; (317): 793—796. DOI: 10.1126/science.1141038.
26. EPICA community members Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Journal Nature*. 2004; (429): 623—628. DOI: 10.1038/nature02596.
27. Grootes P. M., Stuvier, J. W. White, S. J. et al. Comparison of oxygen isotope records from GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Journal Nature*. 1993; (366): 552—554. DOI: 10.1038/366552a0.

28. Dansgaard W., Johnsen S. J., Clausen et. al. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Journal Nature*. 1993; (364): (218—220).
29. Jenkins G., Watts D. *Spektralnyi analiz i ego prilozheniya = Spectral analysis and its applications*. Moskva: Mir. 1971; Vol.1, 2. (In Russ.).
30. Arushanov M. L., Korotaev S. M. *Potok vremeni kak fizicheskoe yavlenie =The flow of time as a physical phenomenon*. Filosovskie nauki. VINITI. 1989; (7598-B89): 42 p. (In Russ.).
31. Arushanov M. L., Korotaev S. M. Causal analysis and its application to the study of physical processes in the atmosphere. *Meteorologiya i gidrologiya = Journal Meteorology and hydrology*. 1994; (6): (15—22). (In Russ.).
32. Arushanov M. L. *Prakticgeskie voprosy ispolzovaniya viyvlet preobrazovaniya v meteorologii = Practical issues of using wavelet transform in meteorology*. Tashkent: NIGMI. 2015: 50 p. (In Russ.).
33. Arushanov M. L., Goryachev A. M. *Efekty prichinnoy mehaniki v meteorologii = Effects of causal mechanics in meteorology*. Tashkent: NIGMI. 2003: 102 p. (In Russ.).
34. Arushanov M. L. On the need to take into account the effects of causal mechanics in hydrodynamic models of forecasting and climate. *Doklady Akademii nauk RU = Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*. 2002; (6): (28—29). (In Russ.).
35. Korotaev S. M., Kiktenko E. O. Causal Analysis of Quantum Entangled States. Chast 1. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. «Estestvennye nauki» = Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Series: Natural Sciences*. 2010; (3): (35—55). (In Russ.).
36. Korotaev S. M. On the possibility of causal analysis of geophysical processes. *Geomagnetism i aeronomiya = Geomagnetism and aeronomy*. 1992; (32): (27—33). (In Russ.).
37. Korotaev S. M., Shabeliansky S. V., Serdyuk V. O. Generalized causal analysis and its application to the study of the electromagnetic field in the sea. *Izv. RAN. Fizika Zemli = Izvestia RAS. Physics of the Earth*. 1992; (6): (77—86). (In Russ.).
38. Korotaev S. M., Khachay O. A., Shabeliansky S. V. Causal analysis of the process of horizontal information diffusion of the electromagnetic field in the ocean. *Geomagnetism i aeronomiya = Geomagnetism and aeronomy*. 1993; (33): (128—133). (In Russ.).
39. Korotaev S. M., Kiktenko E. O. Causal Analysis of Quantum Entangled States. Chast 2. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. «Estestvennye nauki» = Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Series: Natural Sciences*. 2010; (3): (29—47). (In Russ.).
40. Kiktenko E. O., Korotaev S. M. Causal analysis of a symmetric entangled states under decoherence. *Journal Phys. Lett. A*. 2012; (6—7): (820—823). DOI: 10.1016/j.physleta.2012.08.028.
41. Korotaev S. M., Morozov A. N. *Nelokalnost dissipativnyh processov — prichinost i vremya = Nonlocality of dissipative processes — causality and time*. Moskva: Fizmatlit. 2018: 216 p. (In Russ.).
42. Kiktenko E. O., Korotaev S. M., Fedorov A. K., Yurchenko S. O. Causal analysis of entangled states in the tomographic representation of quantum mechanics. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. «Estestvennye nauki» = Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Series: Natural Sciences*. 2012; (5): 75—85. (In Russ.).
43. Shannon K. *Raboty po eorii informacii i kibernetiki = Works on information theory and cybernetics*. Moskva: Inostr. Lit. 2002: 827 p. (In Russ.).
44. Arushanov M. L. *Estestvennye prichiny izmeneniya sovremenennogo klimata planet = Natural causes of modern climate change on the planet*. Hamburg: Lambert Academic Publishing. 2012: 175 p. (In Russ.).
45. Prigogine I. *Vvedenie v termodinamiku neobratimiyh processov = Introduction to the thermodynamics of irreversible processes*. Moskva: Inostr. Literatura. 1960: 156 p. (In Russ.).
46. Onsager L. Reciprocal relations in irreversible processes. *Journal Physical Review*. 1931; (37): 405—426.
47. Izakov M. N. Self-organization and information on planets and in ecosystems. *Uspehi Fizicheskikh Nauk = Advances in Physical Sciences*. 1997; 167(10): (1087—1094). DOI: doi.org/10.3367/UFN.0167.199710e.1087. (In Russ.).
48. Izakov M. N. On the possibility of measuring the influx of radiative negentropy to the Earth from satellites for environmental studies. *Issledovanie Zemli iz kosmosa = Exploration of Earth from space*. 1991; (4): 3—15. (In Russ.).
49. Khromov S. P., Petrosyants M. A. *Meteorologiya i klimatologiya = Meteorology and Climatology*. Moskva.: MGU, 2006: 567 p. (In Russ.).

КЛИМАТОЛОГИЯ

50. Sorokhtin O. G. *Evolyuciya klimatov Zemli = Evolution of Earth's climates.* Istitut okeanologii RAN im. P. P. Shirshova, site. URL: [<https://fiz.1sept.ru/article.php?ID=200700907.11.02.20 09.4.>] (access date: 10.03.2020). (In Russ.).

Информация об авторе

Арушанов Михаил Львович, доктор географических наук, профессор, научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, mikl-arushanov@rambler.ru

Information about author

Arushanov Mikhail L., Doctor of Geographical Sciences, Professor, research Hydrometeorological Institute, Tashkent.

Статья поступила 08.07.2025

Принята к печати после доработки 16.11.2025

The article was received on 08.07.2025

The article was accepted after revision on 16.11.2025