

Гидрометеорология и экология. 2024. № 75. С. 207—233.
Hydrometeorology and Ecology. 2024;(75):207—233.

ГЕОФИЗИКА

Научная статья
УДК 551.463.6:551.2:551.583
doi: 10.33933/2713-3001-2023-75-207-233

Космос и тектоника Земли как регуляторы выхода эндогенного тепла в океан

Борис Георгиевич Шерстюков, Артем Борисович Шерстюков

Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации-Мировой центр данных,
г. Обнинск, Российская Федерация, boris_sher@mail.ru

Аннотация. Выполнен корреляционный анализ изменений температуры воды вблизи океанского дна с динамическими возмущениями Земли, возникающими в результате неравномерного бароцентрического вращения Солнечной системы. Обнаружена связь выхода эндогенного тепла Земли в Мировой океан преимущественно вблизи границ литосферных плит, горячих точек и островов вулканического происхождения. Активизация выхода эндогенного тепла в океан регулируется небесной механикой. Солнечная радиация не является единственным источником тепла в климатической системе.

Ключевые слова: изменения климата, океан, климатическая система, температура, эндогенное тепло, вулканы, землетрясения.

Для цитирования: Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б. Космос и тектоника Земли как регуляторы выхода эндогенного тепла в океан // Гидрометеорология и экология. 2024. № 75. С. 207—233. doi: 10.33933/2713-3001-2023-75-207-233.

GEOPHYSICS

Original article

Space and tectonics of the Earth as regulators of the release of Earth internal heat into the World Ocean

Boris G. Sherstyukov, Artem B. Sherstiukov

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information–World Data Center,
Obninsk, Russian Federation, boris_sher@mail.ru

Summary. The modern hypothesis about the cause of global climate warming does not take into account that active processes with heat release occur in the mantle of the Earth, capable of participating in the thermal balance of the climate system. With the activation of volcanic activity, the output of internal heat from the mantle to the surface of the earth's crust increases. Most volcanoes are located in the world's

oceans, tracking them is difficult, but necessary. A hypothesis is proposed about the activation of the release of the internal heat of the planet Earth into the World Ocean as a result of disturbances of the upper layer of the Earth's mantle (Low Velocity Zone) with the participation of the Earth in the barycentric rotation of the Solar System. The total moment of inertia of the barycentric rotation of the Sun and four large planets (Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune) is proposed as an index of Earth disturbances. Heat outputs from the Earth's mantle into the ocean were analyzed by changes in water temperature at the ocean floor in nodes of the $1 \times 1^\circ$ geographical grid of the World Ocean for 1960—2022.

The correlation coefficients between the proposed planetary barycentric rotation index and changes in water temperature near the ocean floor in the nodes of the geographical grid of the World Ocean are calculated. For nodes with significant correlation coefficients, the locations of temperature changes under the influence of disturbances from barycentric rotation were recorded on the map. It was found that with increased external influence, the outputs of the Earth's endogenous heat into the World Ocean increased mainly near the boundaries of lithospheric plates in spreading and subduction zones, near hot spots and near islands of volcanic origin. Activation of the release of endogenous heat into the ocean is regulated by celestial mechanics through the mechanism of activation of volcanic activity. In the Pacific Ocean, under the control of the cosmic factor, the outputs of internal heat into the ocean are found along the entire ring of fire in the west, north and east of the Pacific Ocean. In the Atlantic Ocean, the most extensive area of close connections between the water temperature at the ocean floor and the barycentric rotation index turned out to be the area that begins in the Drake Strait and continues into the Weddell Sea at the junction of the Pacific, South American and Antarctic lithospheric plates. In the Indian Ocean, areas with endogenous heat outputs have been found on the border of the African and Indo-Australian plates, on the border of the Indo-Australian and Eurasian plates and in other places near islands of volcanic origin.

The outputs of endogenous heat into the climate system (into the ocean) are modulated by cyclic cosmic disturbances of the forced movement of the Earth following the movement of the Sun around the barycenter of the Solar System. In the problem of global climate change, it should be borne in mind that solar radiation is not the only source of heat in the climate system. Additional heat is supplied to the climate system from the Earth's mantle under the control of a cyclic space factor. Endogenous heat contributes to the thermal balance of the planet.

The anthropogenic greenhouse hypothesis about the cause of modern global climate warming has a serious competitor operating within the framework of the fundamental laws of the Solar system.

Keywords: climate change, ocean, climate system, temperature, endogenous heat, volcanoes, earthquakes.

For citation: Sherstyukov B. G., Sherstiukov A. B. Space and tectonics of the Earth as regulators of the release of Earth internal heat into the World Ocean. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydro-meteorology and Ecology*. 2024;(75):207—233. (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-75-207-233.

Введение

Океан является важнейшим компонентом климатической системы и важнейшим внешним источником энергии для климата атмосферы. Теплоёмкость и тепловая инерционность океана многократно превосходят теплоёмкость и инерционность атмосферы, поэтому в системе океан–атмосфера океан является определяющим в поддержании долгопериодных колебаний климата. Но вопрос о причинах многолетних колебаний и изменений климата как океана, так и атмосферы остается нерешенным.

Исследования причин колебания климата имеют давнюю историю. В подавляющем большинстве случаев считается аксиомой, что Солнце — это единственный источник тепла на Земле. При таком подходе поиски причин изменений глобального климата проводятся в области исследования изменения глобального радиационного баланса тропосферы за счет изменения количества приходящей и уходящей солнечной радиации или за счет перераспределения тепла и влаги

между атмосферой и другими составляющими климатической системы. Однако при любых подходах наблюдаемые изменения и циклические колебания внутри климатической системы не удается объяснить в рамках свойств самой климатической системы. В связи с этим неоспоримым является признание воздействия на глобальный климат некоторого внешнего фактора за пределами климатической системы. Осталось найти этот фактор.

Внешнее воздействие на климат могут оказывать космический фактор, антропогенный фактор или оба фактора вместе. Климатическая система оказалась слишком сложна и недостаточно изучена для уверенного ответа на вопрос о причинах изменения климата. Предполагаемые механизмы воздействия на климат космических факторов пока не получили всеобщего признания. Альтернативой этому стала гипотеза об антропогенном парниковом эффекте, который якобы привел к глобальному потеплению. Единственным аргументом в пользу признания антропогенного фактора, как главного фактора всех бед современного глобального потепления, явились выводы «большинства ученых» об этом, полученные на основе модельных оценок [1].

Доминирование в научных публикациях выводов об антропогенном факторе глобального потепления [1] нельзя приводить в качестве доказательства антропогенной гипотезы, так как все подобные выводы получены на однотипных полуэмпирических моделях, которые для доказательств не предназначены, поскольку построены без достаточных научных обоснований. Эти модели содержат эмпирические настроечные коэффициенты, через них антропогенный парниковый эффект косвенно априори закладывался в модели при их построении. Настроечные коэффициенты научного обоснования не имеют, а значит, и результаты работы таких моделей научно не обоснованы. Других «доказательств» вины человека в проблемах климата нет. Заявления о «большинстве ученых» ясности не добавляет. Многократное повторение недоказанного предположения нельзя считать доказательством. Несостоятельность выводов об антропогенной причине глобального потепления рассматривалась в работах [2—15].

Спорной также является аксиома, заложенная в модели о том, что Солнце — единственный источник тепла на Земле. Общепризнанная астрономическая теория климата М. Миланковича [16] объясняет природу циклических появлений ледниковых периодов изменениями эксцентриситета орбиты и альбедо Земли. В этой теории Солнце рассматривалось как единственный источник энергии. В этом ее основной недостаток, так как она не описывает механизм выхода из ледниковых периодов [17]. Лед, покрывающий Землю в ледниковом периоде, отражает приходящую солнечную энергию в космос и способствует еще большему охлаждению климата и усилению оледенения. Солнечная радиация не способна вывести землю из такого состояния [18]. Много позднее стало известно, что в недрах Земли происходят активные процессы с выделением тепла и с выходами его на поверхность земной коры. При большом альбедо Земли во время ледникового периода Земля могла выйти из состояния оледенения только за счет эндогенного тепла. Эндогенное тепло и в наше время может служить дополнительной энергией для изменения климата.

Следует отметить, что, кроме выводов упомянутого «большинства ученых» об антропогенной природе глобального потепления, не меньшее количество публикаций посвящено описанию исследований внешних факторов космического происхождения, способных повлиять на глобальный климат. Эти работы можно разделить на две большие группы. К одной группе относятся исследования, связанные с изменением солнечной активности в разных ее проявлениях и через разные механизмы влияния на климат. Ко второй группе относятся исследования связей климата с небесной механикой в соответствии с общими законами Солнечной системы.

Направление исследований второй группы представляется наиболее перспективным, так как небесная механика, возможно, является первичной по отношению ко всем циклическим процессам в Солнечной системе, в том числе к циклам солнечной активности и к циклам в климатической системе Земли. Такое предположение не является бесспорным, но опровержений его тоже нет.

Многофакторное космическое влияние накладывается на сложнейшую климатическую систему с многочисленными внутренними прямыми и обратными нелинейными связями. Возникает два главных вопроса: какой выбрать показатель внешнего фактора и в каких параметрах климатической системы следует искать его первичный отклик? Необходимо найти первичные локальные возмущения на Земле, которые должны распространяться в климатической системе по ее внутренним законам и будут проявляться в самых разных взаимозависимых параметрах климата. Кроме того, нужно учитывать инерционность многих процессов на Земле, ответственных за климат, и возможные задержки проявления отклика изменений в климате на внешнее воздействие.

Самой общей и самой устойчивой в веках особенностью космических изменений является небесная механика, а самой общей особенностью небесной механики является барицентрическое вращение Солнечной системы (вращение Солнца и планет вокруг их общего центра масс). При этом Солнце совершает движение в космическом пространстве по траектории похожей на кардиоиду. Данное движение неравномерное, его скорость на разных отрезках времени определяется скоростью смены конфигурации планет в результате их орбитальных вращений. Земля — маленькая планета, она не влияет на барицентр, но орбита Земли привязана к Солнцу, поэтому Земля вместе со всей своей орбитой вовлечена в это дополнительное неравномерное движение в космическом пространстве и испытывает на себе воздействие сил барицентрического вращения. Но в системе координат, привязанных к Земле, этих сил не существует, сама геоцентрическая система координат участвует во вращении вокруг общего центра масс Солнца и планет. Математические модели, построенные в геоцентрических координатах, упускают фактор барицентрического воздействия небесной механики на Землю.

В работе [2] было показано, что неравномерное барицентрическое вращение создает дополнительный вращательный момент осевого вращения Земли и сопровождается изменениями в переносе тепла на поверхности океана по траекториям основных океанических течений. Там же было высказано предположение о том, что барицентрическое вращение Солнечной системы создает дополнительный

вращательный момент не только в осевом вращении Земли и в системе океанических течений, но и в жидком слое мантии Земли — астеносфере, скрытой под земной корой.

Силы барицентрического вращения приложены ко всем оболочкам Земли и астеносфера не является исключением. Предполагается, что в результате таких воздействий на раскаленную астеносферу в ней могут модулироваться возмущения с выходом тепловой энергии на поверхность земной коры.

В недрах Земли сосредоточена огромная тепловая энергия, которая в очень явном виде иногда вырывается в виде вулканов на континентах. Еще больше извержений вулканов происходит на дне Мирового океана. В настоящей работе ставилась задача проверки гипотезы о циклической активизации выхода эндогенного тепла в океан под воздействием циклических возмущений Земли при барицентрическом вращении Солнечной системы. Слежение за выделением эндогенного тепла осуществлялось по температуре воды вблизи океанского дна в узлах географической сетки Мирового океана. Влияние космического фактора на климат океана проверялось через механизм выделения в океан эндогенного тепла.

Целью настоящей статьи является поиск районов с поступлением эндогенного тепла в Мировой океан вследствие квазициклических возмущений астеносферы при неравномерном барицентрическом вращении Солнца и Земли вместе с ним.

Состояние вопроса

Наиболее важными процессами выделения тепла в недрах Земли являются процесс гравитационного разделения Земли на несколько оболочек, распад радиоактивных элементов, приливное взаимодействие Земли и Луны и др. Существование внутреннего источника тепла приводит к повышению температуры земной коры с глубиной. Многолетние измерения теплового потока из Земли показывают, что в среднем значения теплового потока на суше и на океанском дне составляют 50—52 мВт/м² [19]. Однако пространственное распределение потока очень неоднородно и изменяется во времени.

В [19] показано, что срединно-океанические хребты с рифтовыми долинами и с островами вулканического происхождения имеют аномально высокие значения теплового потока — 400—600 мВт/м², достигающие местами значений до 1500 мВт/м², например, в Калифорнийском рифте. Центральная часть Исландии обладает тепловым потоком от 140 мВт/м² до 430 мВт/м². Именно в таких зонах и происходит вынос тепла путем выхода гидротерм из мантии Земли или путем извержения вулканов из области магматических очагов в верхней мантии на глубинах до 150 км.

Уже много известно о подобии в изменениях климата и активизации вулканической деятельности. По данным [20], тенденция глобального потепления наблюдается одновременно с тенденцией усиления вулканической деятельности как на территории суши, так и в значительной степени на территории морского дна.

Выбросы вулканического пепла при извержениях экранируют и временно ослабляют приток солнечного тепла, вызывая кратковременное похолодание климата, но через 2—3 года пепел осаждается, а тенденция потепления восстанавливается.

Усиление вулканизма стало характерным для такого огромного региона, как Тихоокеанский бассейн. В работах А. А. Маракушева и В. Л. Сывороткина активизация вулканической деятельности в планетарном масштабе объясняется усилением водородной дегазации жидкого ядра планеты. По мнению Сывороткина [21], глубинная дегазация — это базовый геологический процесс, определяющий эволюцию планеты. Водород выделяется при кристаллизации твёрдого ядра из жидкого и накапливается в верхней его части на границе с мантией на глубине около 2900 км. Отсюда он просачивается к поверхности Земли по постоянно существующим и действующим каналам дегазации, главными из которых являются рифтовые структуры на вершинах срединно-океанических хребтов. По мнению Маракушева [22], флюиды, восходящие из ядра планеты, являются водородными. Водород, отделяющийся от флюидов в огромном масштабе, достигает стратосферы.

В дополнение к выделениям эндогенного тепла, способным влиять на климат Земли при усилении тектонической активности, в работе [23] сделан вывод о том, что усиление водородной дегазации ядра Земли имеет также другие механизмы воздействия на климат. Согласно одному из них, дегазация приводит к разрушению ледового покрова полярных морей и к деградации озонового слоя. Открытые воды океана создают отепляющее воздействие на атмосферу полярных морей. В работе [24] показано, что усиление планетарного процесса водородной дегазации порождает комплекс физико-химических эффектов, выделяющих тепло в климатическую систему.

В частности, в настоящей работе выполнен поиск температурных изменений в океане, связанных непосредственно только с тепловыми эндогенными выбросами вблизи океанского дна в результате возмущений в земных недрах, возникающих при барицентрическом вращении Солнечной системы с переменной скоростью. Силы барицентрического вращения воздействуют на все оболочки Земли, поэтому возмущения в недрах Земли неизбежны. Вопрос заключается только в количественной стороне эффекта. При этом необходимо ответить на три вопроса:

— Проявляется ли выделение эндогенного тепла в изменениях температуры воды вблизи океанского дна?

— В каких регионах Земли этот эффект наиболее заметен?

— Связана ли активизация выделения эндогенного тепла в океан с силами барицентрического вращения Солнечной системы?

Как известно, литосфера Земли разделена на гигантские плиты, которые движутся относительно друг друга и взаимодействуют друг с другом. На границах плит в местах многочисленных разломов в земной коре, в поясах сжатия океанских рифтовых зон наиболее выражена вулканическая активность, обусловленная глубинными процессами внутри планеты. Контуры плит определяются по зонам наиболее частых землетрясений и вулканических извержений [25].

Обработка временных рядов о количестве вулканических извержений за 200 лет в разных частях Тихого океана показала [26], что в районах Индонезии,

Курил, Японии, Филиппин, Камчатки, Северной и Южной Америки, Аляски, Алеутских, Марианских и Гавайских островов отмечается тенденция роста примерно в 2 раза числа действующих вулканов, которым свойственно повышение активности за 200 лет. Большинство вулканов находятся на дне Мирового океана, площадь которого больше территории суши почти в 2,5 раза. Б. Хизен и П. Д. Фокс [27] показали, что широкая средняя часть срединно-океанических хребтов характеризуется тепловым потоком со значениями выше среднего и что имеются узкие зоны очень высоких значений теплового потока.

Помимо экстремальных значений потоков, связанных с отдельными хребтами, существует аномальная геотермальная зона громадной протяжённости вдоль западной окраины Тихого океана, которая является следствием единых по механизму и характеру геодинамических процессов, охватывающих всю зону северного, западного и юго-западного сопряжений Тихого океана и расположенных по периферии континентов [28].

Изучение активных частей срединной зоны в районе Исландии дали возможность выделить [29] особый тип «рифтовых водородных терм», в газовом составе которых в значительной степени присутствует водород мантийного происхождения с температурами до 300 °С. Там же сообщается, что в отдельных очагах разгрузки обнаружен вынос тепла до 108 ккал/с с кипением и с образованием газопаро-водяных струй.

Подобные горячие выходы обнаружены также американской экспедицией в восточной части Тихого океана [30], где был зафиксирован гидротермальный источник с температурой воды 360 ± 20 °С с голубоватым фонтаном мутной воды, изливавшейся из конусов донных отложений.

По мнению авторов [20], происходящее в настоящее время развитие вулканизма на большей части дна океана и вызывающее нарастание теплосодержания его водной массы является основной причиной увеличения температуры морской поверхности. К аналогичным выводам пришли авторы работы [31], которые показали, что определяющими факторами наблюдаемых климатических аномалий, вплоть до стихийных бедствий, являются громадные выбросы аномального тепла и парниковых газов вследствие усиления сейсмической активности, которые начались в последней четверти XX в.

В работе [32] при исследовании изменений региональных среднегодовых температур с 1830 г. по 2010 г. сделан вывод о связи изменений температуры с эндогенной активностью Земли и внутренним энергетическим обменом. Основным механизмом эндогенной активности Земли, по мнению этих же авторов, является механизм дополнительных циклических взаимодействий оболочек Земли и их вынужденной относительной раскачки из-за гравитационного воздействия больших планет. При этом смещения жидкого ядра, мантии и других оболочек Земли, их циклические изменения с периодами космических воздействий порождают вариации магнитного поля Земли, внутреннего теплового потока и других физических полей с теми же самыми периодами. По мнению авторов работ [33, 34], силы взаимодействия оболочек Земли значительны и могут служить в качестве основного энергетического источника всех

геодинамических и геофизических процессов и обеспечивать их временные вариации.

По результатам исследования, авторы [35] пришли к выводу о том, что дополнительным поставщиком тепла в атмосферу является сейсмичность плюс синхронные выбросы парниковых газов эндогенного происхождения, которые также несут с собой геотермальную энергию. Землетрясения сопровождаются появлением сдвигов и разломов в земной коре, через которые тепло из недр выносятся парами воды, газами, термальными водами, распространяющимися по трещинам и мелким нарушениям осадочного чехла. Этим обуславливается высокая скорость и значительные площади распространения геотермальных и климатических аномалий [35]. Выбросы геотермальной энергии в связи с землетрясениями происходят не одновременно, как в случае с вулканизмом, а длительно в течение 2—3-х лет. Эти потоки аномального тепла постепенно распространяются на другие регионы, приводя к росту среднегодовых температур по всей планете. По оценкам указанных авторов, геотермальные выбросы после землетрясений на 2—3 порядка выше, чем вызванные вулканизмом.

Итак, случаи выхода эндогенного тепла в океан зафиксированы и доказаны. Но океан является важнейшей компонентой климатической системы. Из этого следует, что климатическая система получает дополнительное тепло из земных недр и, следовательно, Солнце не единственный источник тепла в климатической системе. В связи с этим необходимо описать локальные особенности выходов тепла в разных частях Мирового океана, оценить масштабы территорий океанского дна на планете, на которых земные недра отдают свое тепло в климатическую систему. Самой главной является задача выявления причин активизации выхода эндогенного тепла в климатическую систему.

Исходные данные и методы анализа

В работе использовались данные о среднегодовой температуре воды на стандартных горизонтах океана от 5 м до океанского дна (в пределе на 42-х горизонтах от 5 м до 5350 м). Архив этих данных с наименованием EN.4.2.1 [36] с поправками G10 Гурецки и Резегетти [37] был получен авторами статьи с сайта <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/en4/download-en4-2-1.html> и предназначен для некоммерческого использования. Архив среднемесячных данных о температуре воды использовался с 1960 г. по 2022 г. Более ранние данные менее надежные, поэтому не вошли в работу.

По сообщениям авторов архива, он основан на данных профилей температуры океана под поверхностью, полученных из четырех архивов. Большая часть данных была получена из базы данных Мирового океана [38], включая все обновления базы, которые были доступны на тот момент. С 1990 г. данные дополняются профилями, собранными в рамках проекта «Профиль глобальной температуры и солености» [39]. Использовались так же данные Argo, т. е. программы Глобальной системы наблюдений за океаном. Данные Argo были собраны и предоставлены в свободный доступ Международным проектом Argo и национальными

инициативами, которые вносят в него вклад [40]. Дополнительные арктические данные были собраны авторами архива в рамках проекта по Арктическим синоптическим наблюдениям в масштабах всего бассейна и тоже включены в архив данных EN.4.2.1.

На этапе создания архива все данные были подвергнуты серии процедур контроля качества. Они включали три новые проверки, введенные в эту версию набора данных. В первом из них сверялась глубина в месте расположения каждого профиля с данными о глубине в наборе данных о рельефе. Вторая проверка была на соответствие последовательного увеличения глубины по каждому профилю. Ошибочные уровни отбрасывались. Третья проверка — сравнение последовательности в профилях солености.

Объективные анализы температуры за месяц рассчитывались авторами архива на основе данных об океане с учетом контроля качества. В результате были вычислены многолетние ряды среднемесячной температуры воды Мирового океана в узлах географической сетки через 1° по широте и долготе на 42-х стандартных уровнях по вертикали.

Используя указанные среднемесячные данные о температуре, авторами статьи был получен массив среднегодовых значений в тех же узлах через 1° широты и долготы за 1960—2022 гг., который далее использовался в настоящей работе после проведения дополнительного контроля качества данных.

Проверка данных была выполнена на предельно допустимые отклонения каждого значения от многолетней нормы для соответствующего места и горизонта. Допустимыми значениями температуры T_i считались значения в интервале: $T_{\text{cp}} + 4\sigma > T_i > T_{\text{cp}} - 4\sigma$, где T_i — текущее значение температуры, T_{cp} — среднее многолетнее значение температуры, σ — среднеквадратическое отклонение температуры.

Значения T_{cp} и σ вычислялись по исходным данным за 1960—2022 гг. в каждом географическом узле на каждом горизонте. Исходные значения T_i , выходящие за установленные пределы, исключались из дальнейшей работы (i — номер года). Интервал разброса $\pm 4\sigma$ заведомо включает все корректные значения ряда с распределением близким к нормальному, а значения, выходящие за этот интервал, считались ошибочными.

Проверка на предельно допустимые отклонения проводилась в три этапа. На первом этапе при вычислении нормы и среднеквадратического отклонения использовались все исходные значения на соответствующем горизонте, в число которых попадали ошибочные значения, если они были. Эти скрытые ошибочные исходные значения на первом этапе исказили истинные значения T_{cp} и σ , поэтому интервал допустимых значений на первом этапе был не совсем корректным. Наибольшая погрешность в сторону завышения появлялась в значении σ , в результате интервал допустимых значений оказывался неоправданно расширенным. Самые грубые ошибки при этом удавалось отбросить, но более мелкие ошибки оставались в архиве.

На втором этапе проверки новые значения нормы и среднеквадратического отклонения вычислялись по оставшимся значениям, после исключения грубых ошибок на первом этапе. Все значения T_i повторно были проверены на соответствие

установленному интервалу по новым нормам и среднеквадратическим отклонениям второго этапа. Выявленные новые ошибки также были отброшены.

Затем аналогично был выполнен третий этап проверки. С каждым новым этапом чувствительность метода к ошибкам повышалась, а в исходных рядах оставалось все меньше ошибочных значений. Анализ результатов контроля показал, что проверка была выполнена не напрасно, т.к. исчезли значения, резко отличающиеся от закономерностей общей статистической структуры.

Даже после трехэтапного контроля некоторые мелкие ошибки могли остаться в архиве. Для ослабления их роли полученные после контроля вертикальные профили температуры воды были сглажены скользящим осреднением по 5 горизонтам. Далее в работе использовались проконтролированные сглаженные значения температуры воды Мирового океана на 42 горизонтах.

Нормы и размах колебаний температуры сильно отличаются на разных горизонтах. Для их сопоставимости по вертикали и для более наглядного графического представления многолетних изменений температуры на разных горизонтах в дальнейшей работе использовались стандартизированные значения:

$$\tilde{T}_i = \frac{T_i - T_{\text{ср}}}{\sigma}.$$

При стандартизации норма и среднеквадратическое отклонение температуры на горизонтах за 1960—2022 гг. вычислялись по данным, прошедшим трехэтапный контроль, описанный выше.

Рабочая гипотеза исследования строилась на предположении связи интенсивности выхода в океан эндогенного тепла Земли с динамическими возмущениями планеты Земля в результате неравномерного барицентрического вращения Солнечной системы. Количественной оценкой изменений в Солнечной системе служили значения суммарного момента инерции орбитального вращения планет-гигантов и Солнца вокруг оси, проходящей через центр масс Солнечной системы (барицентр). Предполагалось, что при неравномерном барицентрическом вращении всей Солнечной системы на Земле срабатывает триггерный механизм активизации подводных вулканов и геотермальных выбросов в океан в результате возмущений мантии Земли силами Ньютона, действующими на все оболочки Земли. Выше отмечалось, что подобное предположение уже подтвердилось на примере появления дополнительного вращательного момента в осевом вращении самой Земли и в активизации переноса тепла на поверхности океана основными океаническими течениями, составляющими Большой океанический конвейер течений Брокера [41].

Суммарный момент инерции J барицентрического вращения планет i массой m_i , находящихся на расстоянии r_i от оси вращения вычислялся как:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2,$$

где m — масса планеты; r — векторное расстояние от планеты до центра масс Солнечной системы с учётом барицентрической долготы орбитального вращения

планеты, характеризующей в каждый момент направление вектора момента инерции. Момент инерции каждой i -ой планеты — это векторная величина $j_i = \{x_i; y_i\}$, где x_i и y_i — составляющие момента инерции на плоскости.

Суммарный момент инерции вращения планет можно записать в виде:

$$J = \left\{ \sum_{i=1}^n x_i; \sum_{i=1}^n y_i \right\},$$

где n — число планет.

Составляющие вектора момента инерции вращения каждой планеты определяются как:

$$x_i = -m_i r_i^2 \sin\left(\frac{\pi}{180} d_i\right), \quad y_i = -m_i r_i^2 \cos\left(\frac{\pi}{180} d_i\right), \quad (1)$$

где m_i — масса планеты; r_i — расстояние от барицентра до планеты; d_i — барицентрическая долгота планеты, которая определяет направление действия момента инерции.

Ранее [42] уже вычислялся подобный индекс, т. е. момент инерции барицентрического вращения Солнечной системы, но орбиты планет принимались круговыми. В настоящей работе была учтена эллиптичность планетных орбит.

Суммарные составляющие вектора момента вращения планет-гигантов за год:

$$X = \sum_{k=1}^{365} \sum_{i=1}^n x_i, \quad Y = \sum_{k=1}^{365} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2)$$

где k — номера суток внутри года от 1 до 365.

Скалярная величина суммарного за год момента вращения планет-гигантов:

$$J = \sqrt{X^2 + Y^2}. \quad (3)$$

Астрономические данные для вычисления индекса получены из Института прикладной астрономии Российской академии наук [43]. Расстояния до планет были выражены в километрах, а массы планет — в килограммах. Суммарные скалярные значения момента вращения больших планет (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) вычислены по формулам (1) — (3) за 1801—2050 гг.

Планеты земной группы практически не влияют на момент инерции вращения Солнечной системы, а четыре большие планеты дают основные вклады, сопоставимые между собой. Это означает, что планеты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун при движениях по своим орбитам придают Солнцу неравномерное движение по некоторой траектории в космическом пространстве. Каждая отдельная планета придаёт Солнцу движение, при котором центр Солнца смещается относительно общего центра масс на величину меньше радиуса Солнца, но сочетание нескольких планет в одном секторе барицентрических долгот может привести к смещению Солнца на величину больше двух радиусов Солнца.

На рис. 1 приведены вычисленные годовые значения суммарного момента инерции J вращения больших планет относительно центра масс Солнечной системы за 1801—2049 гг. По сути J — это индекс барицентрического вращения.

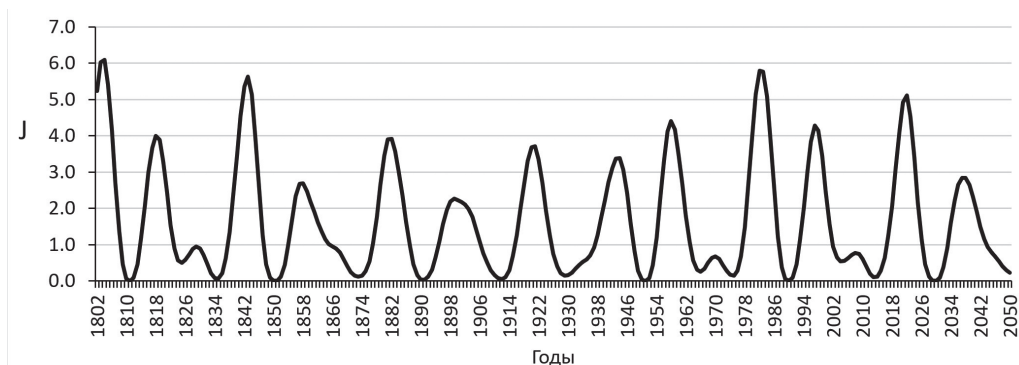


Рис. 1. Суммарный момент инерции вращения больших планет относительно центра масс Солнечной системы [$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^{52}$].

Fig. 1. The total rotational moment inertia of large planets with respect to the center of mass of the solar system [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 10^{52}$].

Индекс барицентрического вращения является мерой возникающих на Земле динамических возмущений при движении Солнца вокруг барицентра. Траектория этого движения в космическом пространстве похожа на кардиоиду. Земля вместе со всей своей орбитой привязана к Солнцу и увлекается им в движение по кардиоиде. Это движение неравномерное, квазициклическое.

Исследование связи выхода эндогенного тепла с возмущениями от неравномерного барицентрического вращения Солнечной системы выполнено методом асинхронного корреляционного анализа изменений температуры воды на нижнем стандартном горизонте океана в узлах географической сетки с индексом барицентрического вращения. Анализировались асинхронные связи в предположении возможного запаздывания отклика выделения эндогенного тепла на внешние возмущения.

Результаты исследований

По данным о температуре воды вблизи океанского дна выполнена проверка наличия связи выходов мантийного тепла с изменениями индекса J . С этой целью по данным за 1960—2022 гг. в каждом узле географической сетки из данных о среднегодовой температуре T воды океана на стандартных горизонтах выбирался ряд данных только на самом нижнем горизонте в этом узле. Полученные ряды температуры вблизи океанского дна в каждом узле за 1960—2022 гг. использовались при вычислении коэффициентов корреляции между изменениями среднегодовой температуры у океанского дна и среднегодовыми значениями индекса барицентрического вращения J Солнечной системы. Ряд индекса J использовался за 1801—2050 гг. Коэффициенты корреляции вычислялись при сдвигах индекса J на интервал времени от 0 до 14 лет с шагом 1 год. Сдвиг имитировал возможное запаздывание отклика температуры океана на изменения индекса J .

Так как запаздывание отклика заведомо неизвестно, то его предстояло определить. Районы возможного выхода эндогенного тепла тоже неизвестны, поэтому их поиск выполнен по данным во всех узлах сетки $1 \times 1^\circ$ географических широт и долгот Мирового океана.

В каждом узле по максимальному из всех асинхронных коэффициентов корреляции определялся наилучший (максимальный по модулю) коэффициент и сдвиг (количество лет запаздывания), который принимался за время запаздывания отклика изменений температуры на изменения индекса J . Ряд индекса J начинался с 1801 года, поэтому его сдвиг до 14 лет при вычислениях асинхронных коэффициентов не приводил к уменьшению числа членов ряда, участвующих в вычислениях.

На рис. 2 приводятся узлы тесных связей со значимыми (при доверительной вероятности $p > 95\%$) коэффициентами корреляции r между температурой воды на нижнем горизонте (ближайший придонный горизонт) и индексом J . При этом кружками разного цвета показаны те узлы географической сетки, в которых вычисленные коэффициенты корреляций между T и J при наилучших сдвигах

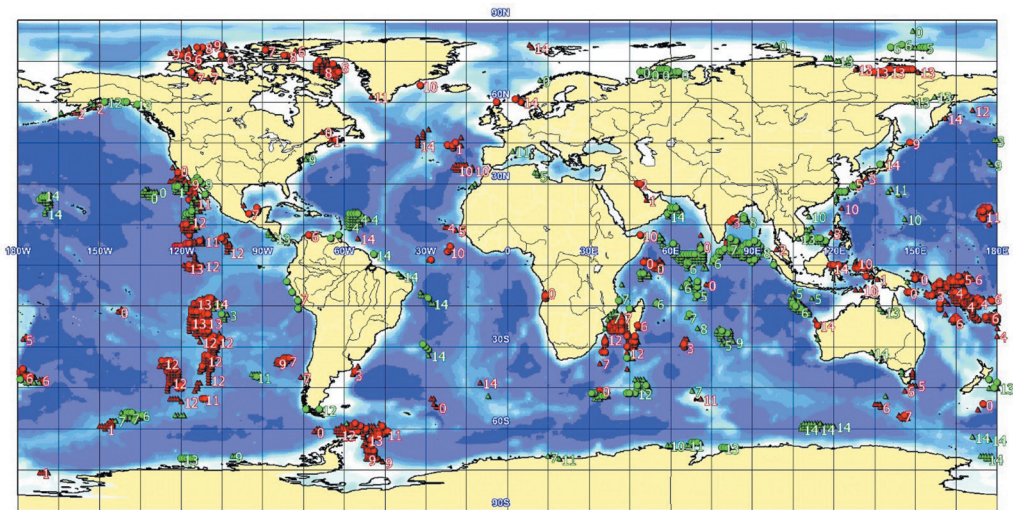


Рис. 2. Узлы тесных связей со значимыми (доверительная вероятность $p > 95\%$) коэффициентами корреляции r между температурой воды на нижнем горизонте (ближайший придонный горизонт) и индексом J .

Обозначения: кружки красные ($r > 0,65$), треугольники красные ($r > 0,60$), кружки зеленые ($r < -0,65$), треугольники зеленые ($r < -0,60$).

Fig. 2. Nodes of close connections with significant (confidence probability $> 95\%$) correlation coefficients r between the water temperature at the lower horizon (the nearest bottom horizon) and the index J .

Symbols: red circles ($r > 0,65$), red triangles ($r > 0,60$), green circles ($r < -0,65$), green triangles ($r < -0,60$).

оказались $r > 0,65$ или $r < -0,65$, а треугольниками разного цвета показаны узлы, в которых коэффициенты корреляций между T и J при наилучших сдвигах оказались $r > 0,60$ или $r < -0,60$.

Кружки и треугольники на карте показывают районы тесных связей изменений температуры воды вблизи океанского дна с небесной механикой. Красные кружки и треугольники соответствуют узлам с положительными связями, а зеленые — с отрицательными связями. Цифрами вблизи узлов обнаруженных связей показано время запаздывания отклика изменений температуры (количество лет) в этом районе на изменения индекса J .

Все узлы со значимыми коэффициентами корреляции нанесены на карту. Узлы тесных связей на карте рис. 2 распределились по океанам неслучайно. Их положение соответствует районам активной вулканической деятельности. Такими районами, как известно, являются обширные протяженные области вблизи границ литосферных плит и в районах горячих точек на плитах [19].

Литосферная плита — это огромный по площади целостный блок земной коры, отделенный от других подобных блоков зонами разломов с активными сейсмическими и тектоническими явлениями. На границах между литосферными плитами происходят различные явления: плиты могут раздвигаться, сдвигаться с погружением одной плиты под другую или могут скользить одна относительно другой. Границы плит являются зонами максимальной сейсмической и вулканической активности. При раздвижении океанических литосферных плит образуются открытые трещины в земной коре, по которым происходит поднятие ее базальтовых магм на поверхность морского дна с выносом эндогенного тепла в океан. В Мировом океане оказалось 1549 узлов с тесными связями изменений температуры с индексом J (рис. 2). Каждый узел характеризует участок в океане площадью около 12 тыс км², тогда общая площадь районов, в которых температура воды у океанского дна изменяется когерентно с изменениями индекса J барицентрического вращения Солнечной системы составляет около 18,6 млн км². Учитывая, что общая площадь всего Мирового океана около 360 млн км², получаем, что эндогенное тепло Земли выходит в океан на пяти процентах площади Мирового океана.

По данным, представленным на карте, видно, что изменения температуры вблизи океанского дна происходят с некоторым запаздыванием после изменений индекса J . Запаздывание в разных районах чаще бывает 3—6 лет или 12—14 лет, а знак связи может быть как положительным, так и отрицательным, но во всех отмеченных узлах корреляции были значимые.

Различия в знаке обнаруженных связей в разных районах Мирового океана объясняются различными свойствами литосферных границ и другими геодинамическими условиями. Границы плит могут быть дивергентными (спрединг) и конвергентными (субдукция). В обоих случаях на этих границах создаются условия для выхода раскаленной магмы в океан или для разогрева верхнего слоя земной коры при интрузивных процессах, когда магма поднимается к поверхности земной коры, разогревает ее верхний слой и отдает тепло океану, но не выходит в океан.

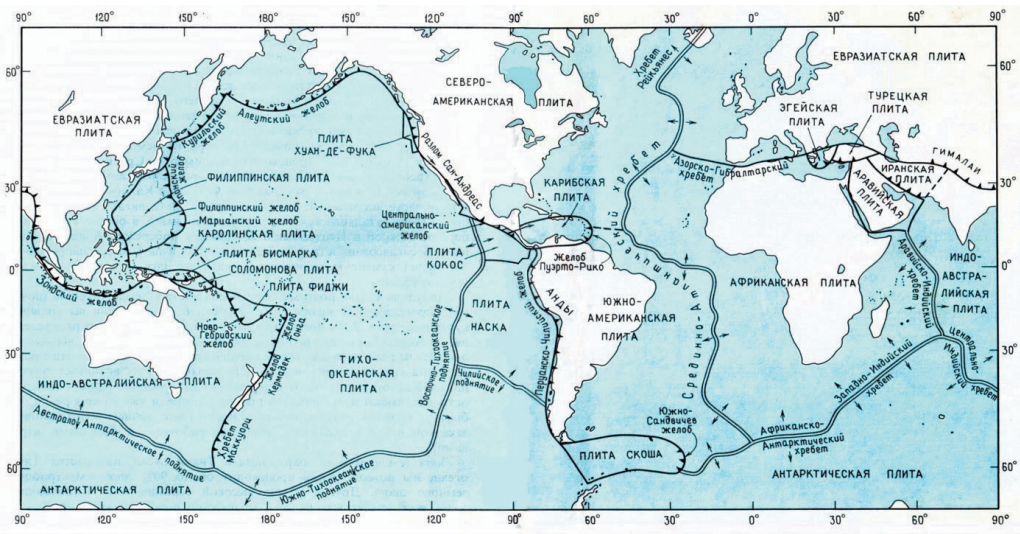


Рис. 3. Границы литосферных плит по В. Е. Хайн и М. Г. Ломизе [44].

Fig. 3. Boundaries of lithospheric plates according to V. Khain and M. Lomize [44].

Литосферу принято делить на семь крупных и несколько малых тектонически обособленных плит. Границы между ними проводят по областям наиболее частых землетрясений. На рис. 3 показаны границы основных литосферных плит.

Места проявления современного вулканизма образуют три глобальных вулканических пояса: Тихоокеанский, Атлантический и Средиземноморско-Индонезийский.

Рассмотрим подробнее Тихоокеанский пояс. На рис. 4 на фоне рельефа океанского дна Тихого океана показано распределение узлов тесных связей изменений температуры придонного слоя воды с изменениями индекса J баричесентрического вращения Солнечной системы.

На карте рис. 4 отчетливо прослеживается связь расположения выявленных узлов с рельефом океанского дна. Сравнение расположения отмеченных на рис. 4 узлов с границами литосферных плит на карте (рис. 3) в Тихом океане показывает их почти полное совпадение. Наличие тесных связей многолетних изменений температуры воды у океанского дна с индексом космического воздействия в местах активной вулканической деятельности на границах литосферных плит подтверждает исходную гипотезу о возможном вкладе эндогенного тепла Земли в температуру воды вблизи океанского дна и показывает, что выходы этого тепла в океан модулируются циклическими космическими воздействиями в результате баричесентрического вращения Солнечной системы.

Обширной областью Тихого океана тесных связей между изменениями температуры воды и индексом J космического воздействия оказалась акватория вокруг островов Меланезии (о. Новая Гвинея, Соломоновы острова и острова Новой

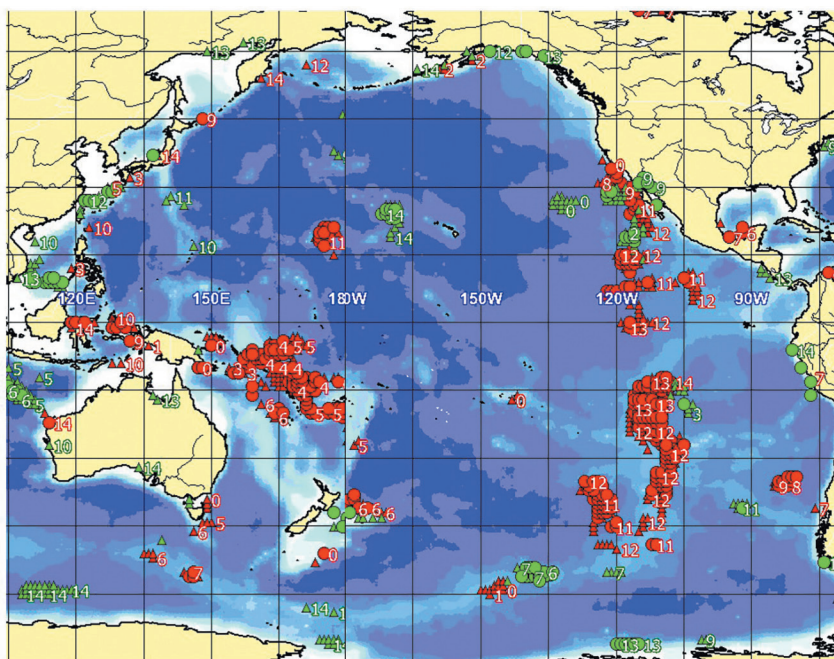


Рис. 4. Узлы тесных связей со значимыми ($p > 95\%$) коэффициентами корреляции r между температурой воды на нижнем горизонте (ближайший ко дну горизонт) и индексом J . Тихий океан.

Обозначения: кружки красные ($r > 0,65$), треугольники красные ($r > 0,60$), кружки зеленые ($r < -0,65$), треугольники зеленые ($r < -0,60$).

Fig. 4. Nodes of close connections with significant ($p > 95\%$) correlation coefficients r between the water temperature at the lower horizon (the nearest bottom horizon) and the index J . Pacific ocean.

Symbols: red circles ($r > 0,65$), red triangles ($r > 0,60$), green circles ($r < -0,65$), green triangles ($r < -0,60$).

Гебриды). Это место на границе Тихоокеанской и Индо-Австралийской плит. Коэффициенты корреляции здесь положительные.

Наиболее высокие коэффициенты корреляции между изменениями температуры и индекса J достигали значений $r = 0,88$. На рис. 5 показаны графики изменения аномалий температуры на глубине 3563 м и индекса J в одном из географических узлов с координатами 15° ю.ш. 172° в.д. вблизи островов Меланезии. В этом узле наилучший коэффициент корреляции оказался $r = 0,72$ при запаздывании температурных изменений относительно изменений индекса J на 4 года. Данный узел географической сетки является одним из множества других, отмеченных на рис. 4 подобных узлов в этой части океана с аналогичными изменениями температуры воды вблизи океанского дна. График изменения индекса J на рис. 4 приведен со сдвигом на 4 года для визуального сравнения колебаний температуры

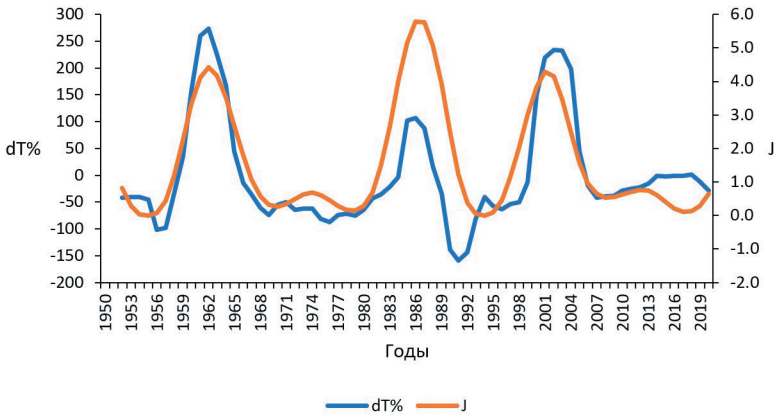


Рис. 5. Аномалии температуры воды dT (в % от среднеквадратического отклонения) у океанского дна вблизи островов Меланезии и индекс барицентрического вращения J ($\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^{52}$) со сдвигом на 4 года. Узел 15° ю.ш., 172° в.д. Горизонт 3563 м.

Fig. 5. Anomalies of water temperature dT (in % of the standard deviation) at the ocean bottom near the islands of Melanesia and the barycentric rotation index J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 10^{52}$) with a shift of 4 years. Node 15° S, 172° E Horizon 3563 m.

с изменениями внешнего воздействия. Шкала горизонтальной оси соответствует шкале времени для температуры. Нетрудно видеть хорошее соответствие изменений температуры воды у океанского дна с произошедшими на 4 года раньше аналогичными изменениями индекса J .

Северо-западнее Меланезии обнаружались узлы с положительными связями в районе Молуккских островов. Они лежат на границе между Филиппинской и Индокитайской плитами. Запаздывание температурных изменений здесь составляет 9—10 лет. А между Евроазиатской и Филиппинской плитами вытянулась серия узлов с отрицательными связями температуры у морского дна с индексом J . Вдоль Японского и Курило-Камчатского желобов в северо-западной части Тихого океана положительные связи обнаружены при запаздывании температуры на 9—14 лет.

В восточной части Тихого океана также оказалось большое количество узлов географической сетки, в которых выявлена тесная связь изменений температуры воды у океанского дна с изменениями индекса J . Вблизи Аляски связи отрицательные с запаздыванием 12—14 лет. В Тихом океане вблизи Калифорнии происходят сложные тектонические процессы, поэтому связи оказались разного знака западнее и восточнее полуострова Калифорния. На западной стороне связи положительные с запаздыванием 9—12 лет, а в Калифорнийском заливе связи оказались отрицательные с запаздыванием 9 лет.

Далее на юг все узлы тесных связей лежат на Восточно-Тихоокеанском хребте между Тихоокеанской плитой и плитой Кокос, а также между Тихоокеанской плитой и плитой Наска. Везде запаздывание 11—13 лет. На стыке Тихоокеанской и Антарктической плит обнаружилось еще два района тесных связей.

Все перечисленные районы составляют известное «огненное кольцо» Тихого океана, вдоль которого чаще всего происходят землетрясения и извержения вулканов. Общее сравнение положений выделенных узлов на карте рис. 4 с границами плит, показанными на рис. 3, не оставляет сомнений в том, что в Тихом океане изменения температуры воды вблизи океанского дна, связанные космическим индексом J , происходят преимущественно на границах литосферных плит в зонах спрединга и субдукции, т.е. в районах активной вулканической и сейсмической деятельности. Пример по Тихому океану подтверждает гипотезу о влиянии эндогенного тепла Земли на температуру воды у океанского дна.

Еще три области выхода эндогенного тепла в океан в связи с космическими воздействиями обнаружили на самой Тихоокеанской плите вдали от ее границ. Одна из них лежит на Гавайском хребте (запаздывание 14 лет, отрицательная связь), вторая — у Срединно-Тихоокеанских гор (запаздывание 11 лет, положительная связь), а третья вблизи острова Таити (положительная связь, запаздывание 0, рис. 4). Перечисленные районы находятся вблизи известных горячих точек с выходами тепла от расположенных под ними плюмов. Известно, например, что под о. Гавайи действует горячая мантийная струя, которая пробивает астеносферу и литосферу [45].

Полученные результаты подтверждают гипотезу о связи выходов мантийного тепла с барицентрическим вращением Солнечной системы в тех районах, в которых сложились благоприятные условия для этого, т.е. на границах литосферных плит. Иначе говоря, активизация вулканов и выходы эндогенного тепла в океан в какой-то мере регулируется внешними силами, возникающими при неравномерном барицентрическом вращении Солнечной системы. Этот вывод может иметь прогностическое значение.

На примере данных в районе Гавайских островов в узле с координатами 13° с.ш., 177° з.д. анализировалось распространение эндогенного тепла по вертикали. Оказалось, что изменения температуры на нижнем горизонте 5051 м оказывают влияние на температуру вышележащих горизонтов в слое около 2 км. Выше связь теряется. При этом важно отметить, что рассматриваемые изменения температуры возникают именно у океанского дна, а не приходят сверху. Далее действуют горизонтальные и вертикальные течения океана, которые могут выносить эндогенное тепло на поверхность в районах, удаленных от узла первоначальной фиксации выхода тепла из земной коры в океан. Описание горизонтального и вертикального переноса эндогенного тепла в Мировом океане является отдельной большой задачей.

Аналогичные результаты по выявлению узлов выхода эндогенного тепла получены по акватории Атлантического океана (рис. 6). Наиболее обширным районом тесных связей температуры воды у океанского дна с индексом барицентрического вращения оказалась область, которая начинается в проливе Дрейка и продолжается в море Уэдделла на стыке Тихоокеанской, Южно-Американской и Антарктической литосферных плит. Связи положительные, запаздывание температурного отклика составляет в этих районах 9—13 лет.

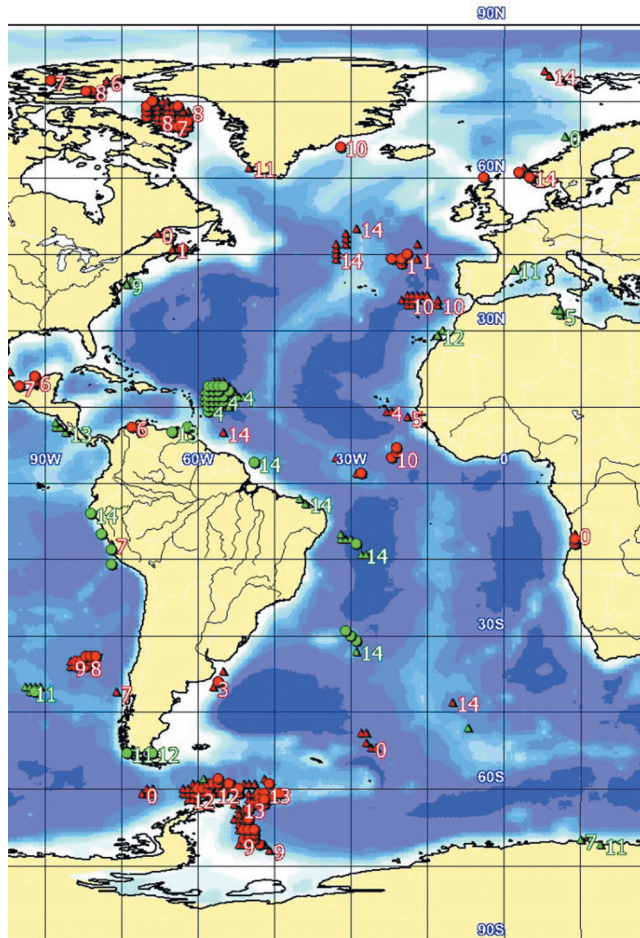


Рис. 6. Узлы тесных связей со значимыми ($p > 95\%$) коэффициентами корреляции r между температурой воды на нижнем горизонте (ближайший ко дну горизонт) и индексом J . Атлантический океан.

Обозначения: кружки красные ($r > 0,65$), треугольники красные ($r > 0,60$), кружки зеленые ($r < -0,65$), треугольники зеленые ($r < -0,60$).

Fig. 6. Nodes of close connections with significant ($p > 95\%$) correlation coefficients r between the water temperature at the lower horizon (the nearest bottom horizon) and the index J . Atlantic Ocean.

Symbols: red circles ($r > 0,65$), red triangles ($r > 0,60$), green circles ($r < -0,65$), green triangles ($r < -0,60$).

Обширная область отрицательных связей обнаружилась в районе океанического жёлоба около островной дуги Малых Антильских островов и около побережья Южной Америки. Запаздывание 3—4 года. Желоб расположен в месте

соприкосновения Южно-Американской плиты с Сандвичевой плитой, рассматриваемой вместе с плитой Скоша. Район вдоль этой островной дуги к юго-востоку от Пуэрто-Рико до побережья Южной Америки известен своей вулканической активностью.

В высоких широтах Северного полушария обнаружилась обширная область положительных связей с запаздыванием 6—8 лет в море Баффина вблизи Гренландии. На широте 40° с.ш. срединно-океанический хребет образует Азорское вулканическое плато, с многочисленными надводными и подводными действующими вулканами. В этом районе находится тройное сочленение рифтовых зон с ответвлением от Северо-Атлантического хребта, которое протягивается в сторону Гибралтарского пролива. Здесь обнаружено три небольших района тесных положительных связей с разным временем запаздывания: 1, 10 и 14 лет. Это районы вблизи Азорских островов, островов Мадейра и Канарских островов. Еще южнее связи обнаружены вблизи островов Зеленого мыса. Все перечисленные районы сохраняют вулканическую активность, а сами острова имеют вулканическое происхождение [46].

В районе экватора обнаружено два района тесных положительных связей на Срединно-Атлантическом хребте и один у побережья Африки. Две небольшие области отрицательных связей обнаружены на плато Риу-Гранди и на острове Триндади с запаздыванием 14 лет. Триндади — это небольшой остров в цепи подводных вулканов Атлантического океана. На Южно-Атлантическом хребте тесные связи обнаружены только вблизи острова Гоф. Острова-вулканы на этом хребте встречаются сравнительно редко, возможно, поэтому там больше не обнаружено тесных связей глубинной температуры с индексом барицентрического вращения Солнечной системы.

В Средиземноморско-Индонезийском вулканическом поясе наиболее обширные области тесных связей оказались в Индийском океане (рис. 7).

В Индийском океане узлы с выходами эндогенного тепла обнаружены на границе Африканской и Индо-Австралийской плит, на границе Индо-Австралийской и Евроазиатской плит и в других местах вблизи островов вулканического происхождения.

Отрицательные связи с запаздыванием 5—6 лет обнаружили на севере заливов Заманского и Бенгальского, южнее залива на хребте Карсберг, а также вблизи Мальдивских, Андаманских и Никобарских островов. Еще южнее узлы с тесными отрицательными связями с запаздыванием 7—9 лет оказались на Центрально-Индийском хребте. А в проливе Мозамбикский, в Мозамбикской котловине связи оказались положительными с запаздыванием 6—7 лет. Еще южнее — вблизи островов принца Эдуарда и островов Крозе — связи отрицательные с запаздыванием 12—13 лет.

В Западно-Австралийской котловине отрицательные связи обнаружены в узлах вблизи Кокосовых островов и острова Рождества. В Средиземном море выявлено два района, в которых эндогенное тепло циклически подогревает воду в связи с динамическими возмущениями Земли силами барицентрического вращения Солнечной системы.

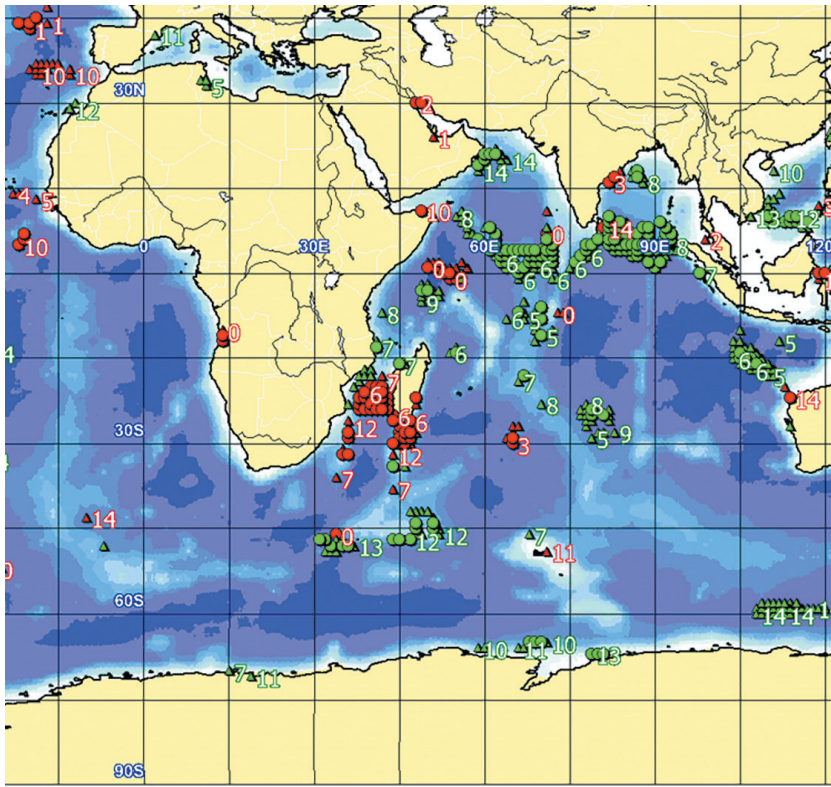


Рис. 7. Узлы тесных связей со значимыми ($p > 95\%$) коэффициентами корреляции r между температурой воды на нижнем горизонте (ближайший ко дну горизонт) и индексом J . Индийский океан.

Обозначения: кружки красные ($r > 0,65$), треугольники красные ($r > 0,60$), кружки зеленые ($r < -0,65$), треугольники зеленые ($r < -0,60$).

Fig. 7. Nodes of close connections with significant ($p > 95\%$) correlation coefficients r between the water temperature at the lower horizon (the nearest bottom horizon) and the index J . Indian Ocean.

Symbols: red circles ($r > 0,65$), red triangles ($r > 0,60$), green circles ($r < -0,65$), green triangles ($r < -0,60$).

Обнаруженные связи подтвердили, что в результате барицентрического вращения Солнечной системы могут возникать циклические выходы эндогенных тепловых потоков в океан, приводящие к изменениям температуры воды вблизи дна океана преимущественно на границах литосферных плит. Из этого следует вывод о том, что излучение Солнца не единственный источник тепла на Земле, эндогенное тепло также вносит вклад в тепловой баланс планеты. Еще предстоит получить количественную оценку этого вклада, но уже известно, что выход мантийного тепла в океан и его цикличность модулируется небесной механикой.

Заключение

На все три вопроса, поставленных в вводной части статьи, получены положительные ответы.

Подтверждены накопленные ранее сведения о возможности выхода аномально высоких значений потоков *эндогенного* тепла на поверхность земной коры на дне океана в местах расположения океанических хребтов с рифтовыми долинами и с островами вулканического происхождения.

Выходы эндогенного тепла в климатическую систему (в океан) модулируются циклическими космическими возмущениями вынужденного движения Земли вслед за движением Солнца вокруг барицентра Солнечной системы. В Мировом океане выходы мантийного тепла на границах литосферных плит и в горячих точках оказались в тесной зависимости от воздействий на Землю сил, возникающих при неравномерном барицентрическом вращении Солнечной системы.

Наличие указанной зависимости подтверждает исходную гипотезу о заметном вкладе эндогенного тепла Земли в температуру воды у океанского дна. Это означает, что Солнце не единственный источник тепла в климатической системе. Эндогенное тепло вносит свой вклад в изменения температуры океана, но еще предстоит количественно оценить вклад небесной механики в эти изменения и вклад выявленных изменений температуры вод океана в колебания глобального климата.

Наибольшее количество узлов с выходами эндогенного тепла оказалось в Тихом океане во всей полосе Тихоокеанского вулканического «огненного кольца» и в Средиземноморско-Индонезийском вулканическом поясе. Это районы с условиями рельефа океанического дна наиболее благоприятными для выхода мантийного тепла на поверхность.

У антропогенной парниковой гипотезы о причине современного глобального потепления климата появился серьезный конкурент, действующий в рамках фундаментальных законов Солнечной системы.

Список литературы

1. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge. UK and New York. NY. USA. 3056. doi: 10.1017/9781009325844.
2. Шерстюков Б. Г. Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. 222 с.
3. Шерстюков Б. Г. Глобальное потепление и его возможные причины // Гидрометеорология и экология. 2023. № 70. С. 7—37. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-7-37.
4. Малинин В. Н., Вайновский П. А. Влагообмен между океаном и атмосферой во внутритропической зоне конвергенции // Гидрометеорология и экология. 2021. Вып. 63. С. 255—278. doi:10.33933/2713-3001-2021-63-255-278.
5. Малинин В. Н., Вайновский П. А. Тренды компонент влагообмена в системе «океан—атмосфера» в условиях глобального потепления по данным архива Reanalysis-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 3. С. 9—25. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-9-25.

6. Малинин В. Н., Вайновский П. А. О межгодовой изменчивости наиболее интенсивных очагов источников и стока CO_2 в океане на основе данных наблюдений // Гидрометеорология и экология. 2022. № 66. С. 51—69. doi: 10.33933/2713-3001-2022-66-51-70.
7. Кондратьев К. Я. Изменения глобального климата: нерешенные проблемы // Метеорология и гидрология. 2004. № 6. С. 118—127.
8. Демирчян К. С., Кондратьев К. Я., Демирчян К. К. Глобальное потепление и «политика» его предотвращения // Биосфера. 2010. Т. 2. № 4. С. 488—502.
9. Жеребцов Г. А., Коваленко В. А., Молодых С. И., Рубцова О. А. Закономерности климатических изменений в XX в. и основные физические процессы, ответственные за эти изменения // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2011. Т. 4, № 1. С. 87—108.
10. Лисицын А. П., Политова Н. В., Шевченко В. П. XXI Международная научная конференция (школа) «Геология морей и океанов» // Океанология. 2016. Т. 56, № 6. С. 972—974.
11. Нигматуллин Р. И. Климат и океан. Отчет о заседании Президиума Российской академии наук 10.03.2015. Информация с портала «Научная Россия». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/globaljпое-poholodanie>. Дата обращения: 01.12.2022.
12. Котляков В. М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-Земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110—114.
13. Монин А. С., Сонечкин Д. М. Колебания климата по данным наблюдений. Тройной солнечный и другие циклы. М.: Наука, 2005. 190 с.
14. Логинов В. Ф. Космические факторы климатических изменений. Минск, 2020. 168 с.
15. Федоров В. М., Алтунин И. В., Фролов Д. М. Влияние диоксида углерода антропогенного генезиса на термический режим атмосферы и его изменения // Жизнь Земли. 2022. Вып. 44(4). С. 402—414.
16. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М. Л.: ГОНТИ ТТЛ, 1939. 207 с.
17. Бялко А. В. Палеоклимат: дополнения к теории Миланковича // Природа. 2009. №12. С. 18—28.
18. Budyko M. I. Effect of solar radiation variation on climate of Earth // Tellus : journal. 1969. Vol. 21, № 5. P. 611—619.
19. Короновский Н. В. Общая геология: учебник / Н. В. Короновский. — М.: КДУ, 2006. 528 с.
20. Клиге Р. К., Школьный Д. И. Изменение режима поверхностных вод гидросферы // Сложные системы. № 3 (20). 2016. С.4—17.
21. Сывороткин В. Л. Дегазационная концепция глобальных катастроф: основные положения, новые результаты // Вопросы географии. 2019. Сб. 149. Современное землеведение. С. 36—70.
22. Маракушев А. А. Природа сильного потепления в меловой период эволюции Земли // Вестник РАН. 2010. Т. 80. № 3. С. 270—272.
23. Сывороткин В. Л. Глубинная дегазация в полярных регионах планеты и климатические изменения // Актуальные проблемы нефти и газа. Вып. 4(23). 2018. С.1—5.
24. Сывороткин В. Л. Глубинная дегазация земли как фактор температурного воздействия на атмосферу // Нефтяная провинция. 2022. № 1(29). С. 33—48. DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2022.1.33-48>.
25. Шароглазова Г. А. Тектоника литосферных плит в очагах крупнейших землетрясений и результаты геодезических измерений // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. № 2. 2023. С. 84—91. DOI: 10.52928/2070-1683-2023-34-2-84-91.
26. Гамбурцев А. Г., Гамбурцева Н. Г. Извержения вулканов // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. М.: Наука. 1998. С. 140—142.
27. Хизен Б., Фокс П. Д. Срединно-океанический хребет // Океанографическая энциклопедия. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. С. 495—505.
28. Деменцкая Р. М. Кора и мантия Земли. М.: Недра, 1975. 255 с.
29. Иванов В. В., Кононов В. И. Проблемы генезиса терм регионов активного вулканизма // Известия АН СССР. Сер. Геол. 1977. № 11. С. 35—43.
30. Spiess F. N., Macdonald K. C., Atwater T. et al. East Pacific Rise. Hot Springs and Geophysical Experiments // Science. 1980. Vol. 207, N. 4438. P. 231—242.

31. Осика Д. Г., Алишаев М. Г., Пономарёва Н. Л., Отинова А. Ю. О роли сейсмичности и вулканизма в парадоксах современного климата // Вестник Дагестанского научного центра. 2011. № 43. С. 27–32.
32. Смольков Г. Я., Базаржапов А. Д., Петрухин В. Ф., Щепкина В. Л. Геофизические последствия гравитационного воздействия на Землю // Солнечно-земная физика. 2013. Вып. 23. С. 129–135.
33. Баркин Ю. В., Клиге Р. К. Объяснение эндогенной активности планет и спутников и её цикличности // Известия РАЕН. Секция наук о Земле. 2002. № 9. С. 45–97.
34. Баркин Ю. В., Клиге Р. К. Гравитационные воздействия гелиокосмических факторов на эндогенную активность Земли // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 3: Факторы глобальных изменений. М.: Научный мир, 2012. С. 46–61.
35. Осика Д. Г., Отинова А. Ю., Пономарёва Н. Л. О природе глобального потепления и естественных причинах формирования климатических аномалий и катастроф // Аридные экосистемы, 2013, т. 19, № 4 (57), с. 104–112.
36. Good S. A., Martin M. J. and Rayner N. A. Quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates // Journal of Geophysical Research: Oceans, 2013. EN4. P. 6704–6716. doi:10.1002/2013JC009067.
37. Gouretski V., Reseghetti F. On depth and temperature biases in bathythermograph data: development of a new correction scheme based on analysis of a global ocean database. Deep-Sea Research I. 2010. 57(6). doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2010.03.011.
38. Boyer T. P., Antonov J. I., Baranova O. K., et al. World Ocean Database 2013. Sydney Levitus, Ed.; Alexey Mishonov, Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS. 72, 209 pp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13>. Дата обращения: 31.05.2023.
39. GTSP; U.S. National Oceanographic Data Center: Global Temperature–Salinity Profile Programme. June 2006. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Oceanographic Data Center, Silver Spring, Maryland, 20910]. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nodc.noaa.gov/GTSP/>. Дата обращения: 31.05.2023.
40. Wong, A. P. S., et al. (2020), Argo Data 1999–2019: Two Million Temperature-Salinity Profiles and Subsurface Velocity Observations From a Global Array of Profiling Floats, *Frontiers in Marine Science*, 2020. 7(700). doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00700>
41. Broecker W. S. The great ocean conveyor // *Oceanography*. 1991. Vol. 4(2). P. 79–89. doi: 10.5670/oceanog.1991.07.
42. Шерстюков Б. Г. Динамическая синхронизация колебаний климата океана с барицентрическим движением Солнца // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. №3. 380–391. <https://doi.org/10.31857/S2587556621030146>.
43. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук. Санкт-Петербург. Онлайн-служба эфемерид [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iaaras.ru/dept/ephemeris/online/>. Дата обращения: 31.01.2024.
44. Хайн В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики, М. КДУ, 2005. 560 с.
45. Мохнач М. Ф., Прокофьева Т. И. Геология. Книга 2. Геодинамика. Учебник. СПб.: изд. РГГМУ, 2011. 280 с.
46. Герасимов И. П. Вопросы, которые ставит геоморфология Азорских островов // Геоморфология. 1978. №1. С.3–15.

References

1. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge. UK and New York. NY. USA. 3056. doi: 10.1017/9781009325844.
2. Sherstyukov B. G. *Kolebatel'naya sistema klimata, rezonansy, dal'niye svyazi, prognozy = Vibrational climate system, resonances, long-distance communications, forecasts*. Obninsk: RIHMI-WDC, 2021:222 p. (In Russ.).

3. Sherstyukov B. G. Global warming and its possible causes. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2023; (70):(7—37). (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-7-37.
4. Malinin V. N., Vainovsky P. A. Moisture exchange between the ocean and the atmosphere in the intratropical convergence zone. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2021;(63): (255—278). (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-255-278.
5. Malinin V. N., Vainovsky P. A. Trends in moisture exchange components in the “ocean-atmosphere” system under global warming according to the Reanalysis-2 archive. *Sovremennyye problemy dstantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2021; 18(3): (9—25). (In Russ.). doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-9-25.
6. Malinin V. N., Vainovsky P. A. On the interannual variability of the most intense sources and sinks of CO₂ in the ocean based on observational data. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (66): (51—70). (In Russ.). doi: 10.33933/2713-3001-2022-66-51-70.
7. Kondratiev K. Ya. Global climate change: unsolved problems. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2004;(6):(118—127). (In Russ.).
8. Demirchyan K. S., Kondratiev K. Ya., Demirchyan K. K. Global warming and the “policy” of its prevention. *Mezhdistsiplinarnyy i nauchnyy i prikladnoy zhurnal «Biosfera» = Interdisciplinary and scientific and applied journal “Biosphere”*. 2010;2(4):(488—502). (In Russ.).
9. Zherebtsov G. A., Kovalenko V. A., Molodykh S. I., Rubtsova O. A. Patterns of climate change in the 20th century. and the main physical processes responsible for these changes. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle» = Izvestia of the Irkutsk State University. Earth Sciences series*. 2011;4(1):(87—108). (In Russ.).
10. Lisitsyn A. P., Politova N. V., Shevchenko V. P. XXI International scientific conference (school) “Geology of the seas and oceans”. *Okeanologiya = Oceanology*. 2016;56(6):(972—974). (In Russ.).
11. Nigmatullin R. I. Climate and ocean. Otchet o zasedanii Prezidiuma Rossiyskoy akademii nauk 10.03.2015. *Portal «Nauchnaya Rossiya» = Portal “Scientific Russia”*. Available at: <https://scientificrussia.ru/articles/globaljnoe-poholodanie> (accessed 1.12.2022). (In Russ.).
12. Kotlyakov V. M. On the causes and consequences of modern climate change. *Solnechno-Zemnaya fizika = Solar-Terrestrial Physics*. 2012;(21):(110—114). (In Russ.).
13. Monin A. S., Sonechkin D. M. *Kolebaniya klimata po dannym nablyudeniy. Troynoy solnechnyy i drugiy tsikly = Climate fluctuations according to observations. Triple solar and other cycles*. Moscow: Nauka, 2005: 190 p. (In Russ.).
14. Loginov V. F. *Kosmicheskiye faktory klimaticheskikh izmeneniy = Cosmic factors of climate change*. Minsk, 2020: 168 p. (In Russ.).
15. Fedorov V. M., Altunin I. V., Frolov D. M. Influence of anthropogenic carbon dioxide on the thermal regime of the atmosphere and its changes. *Zhizn' Zemli = Life of the Earth*. 2022;44(4):(402—414). (In Russ.).
16. Milankovic M. *Matematicheskaya klimatologiya i astronomicheskaya teoriya kolebaniy klimata = Mathematical climatology and astronomical theory of climate fluctuations*. Moscow- Leningrad.: GONTI TTL, 1939: 207 p. (In Russ.).
17. Byalko A. V. Relaxation theory of climate. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Advances in the physical sciences*. 2012;182(1): (111—116). doi: 10.3367/UFNr.0182.201201h.0111. (In Russ.)
18. Budyko M. I. Effect of solar radiation variation on climate of Earth // *Tellus: journal*. 1969;(21):(5):(611—619).
19. Koronovsky N. V. *Obshchaya geologiya: uchebnik = General geology: textbook*. M.: KDU, 2006. 528 p. (In Russ.).
20. Kliege R. K., Shkolny D. I. Changes in the regime of surface waters of the hydrosphere. *Slozhnyye sistem = Complex systems*. 2016;3(20):(4—17). (In Russ.).
21. Syvorotkin V. L. Degassing concept of global disasters: basic provisions, new results. *Voprosy geografii = Questions of geography*. 2019;(149):(36—70). (In Russ.).
22. Marakushev A. A. The nature of strong warming during the Cretaceous period of Earth’s evolution. *Vestnik RAN = Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2010;(80):(3):(270—272). (In Russ.).
23. Syvorotkin V. L. Deep degassing in the polar regions of the planet and climate change. *Aktual'nyye problemy nefi i gaza = Current problems of oil and gas*. 2018;4(23):(1—5). (In Russ.).

24. Syvorotkin V. L. Deep degassing of the earth as a factor of temperature impact on the atmosphere. *Neftyanaya provintsiya = Oil Province*. 2022;1(29):(33—48). DOI:<https://doi.org/10.25689/NP.2022.1.33-48>. (In Russ.).
25. Sharoglazova G. A. Tectonics of lithospheric plates in the foci of major earthquakes and the results of geodetic measurements. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Polotsk State University*. Series F. 2023;(2):(84—91). (In Russ.). DOI: 10.52928/2070-1683-2023-34-2-84-91.
26. Gamburtsev A. G., Gamburtseva N. G. Volcanic eruptions. *Atlas vremennykh variatsiy prirodnykh, antropogennykh i sotsial'nykh protsessov T. 2 = Atlas of temporal variations in natural, anthropogenic and social processes. V.2*. M.: Nature, 1998;(140—142). (In Russ.).
27. Heesen B., Fox P. D. Mid-ocean ridge In the book. *Okeanograficheskaya entsiklopediya = Oceanographic Encyclopedia*. L.: Gidrometeoizdat, 1974: (495—505). (In Russ.).
28. Demenitskaya R. M. *Kora i mantiya Zemli = Earth's crust and mantle*. M.: Nedra, 1975: 255 p. (In Russ.).
29. Ivanov V. V., Kononov V. I. Problems of the genesis of thermal baths in regions of active volcanism. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geol. = Izvestia. Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geol.* 1977;(11):(35—43). (In Russ.).
30. Spiess F. N., Macdonald K. C., Atwater T., Ballard R., et al. East Pacific Rise. Hot Springs and Geophysical Experiments. *Science*. 1980: 207: 4438:(231—242).
31. Osika D. G., Alishaev M. G., Ponomareva N.L., Otinova A.Yu. On the role of seismicity and volcanism in the paradoxes of modern climate. *Vestnik Dagestanskogo nauchnogo tsentra = Bulletin of the Dagestan Scientific Center*. 2011;43:(27—32). (In Russ.).
32. Smolkov G. Ya., Bazarzhapov A. D., Petrukhin V. F., Shchepkina V. L. Geophysical consequences of gravitational influence on the Earth. *Solnechno-zemnaya fizika = Solar-terrestrial physics*. 2013;(23): (129—135). (In Russ.).
33. Barkin Yu. V., Kliege R. K. Explanation of the endogenous activity of planets and satellites and its cyclicity. *Izvestiya RAYEN. Sektsiya nauk o Zemle = Proceedings of the Russian Academy of Natural Sciences. Section of Geosciences*. 2002;(9):(45—97). (In Russ.).
34. Barkin Yu. V., Kliege R. K. Gravitational influences of heliocosmic factors on the endogenous activity of the Earth. Modern global changes in the natural environment. T. 3: Factors of global change. M.: *Nauchnyy mir = Scientific world*. 2012: (46—61). (In Russ.).
35. Osika D. G., Otinova A. Yu., Ponomareva N. L. On the nature of global warming and the natural causes of the formation of climate anomalies and disasters. *Aridnyye ekosistemy = Arid ecosystems*. 2013;4 (57):(104—112). (In Russ.).
36. Good S. A., Martin M. J., Rayner N. A. EN4: quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates, *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2013; EN4. (6704—6716). doi:10.1002/2013JC009067.
37. Gouretski V., Reseghetti F. On depth and temperature biases in bathythermograph data: development of a new correction scheme based on analysis of a global ocean database. *Deep-Sea Research I*, 2010;(57):(6). doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2010.03.011>.
38. Boyer T. P., Antonov J. I., Baranova O. K., et al. *World Ocean Database 2013*. Sydney Levitus, Ed.; Alexey Mishonov, Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 72, 209 pp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13>. Дата обращения: 31.05.2023.
39. GTSPP; U.S. National Oceanographic Data Center: Global Temperature–Salinity Profile Programme. June 2006. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Oceanographic Data Center, Silver Spring, Maryland, 20910]. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nodc.noaa.gov/GTSPP/>. Дата обращения: 31.05.2023.
40. Wong A. P. S., et al. (2020), Argo Data 1999–2019: Two Million Temperature-Salinity Profiles and Subsurface Velocity Observations From a Global Array of Profiling Floats, *Frontiers in Marine Science*, 7(700), doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00700>
41. Broecker W. S. The great ocean conveyor // *Oceanography*. 1991; 4(2):(79—89). doi: 10.5670/oceanog.1991.07.
42. Sherstyukov B. G. Dynamic synchronization of ocean climate fluctuations with barycentric motion of the Sun. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic series*. 2021;85(3):(380—391). doi: 10.31857/S2587556621030146. (In Russ.).

43. *Federal'noye gosudarstvennoye byudzhetnoye uchrezhdeniye nauki Institut prikladnoy astronomii Rossiyskoy akademii nauk. Sankt-Peterburg. Onlayn-sluzhba efemerid =Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences. Saint Petersburg. Online ephemeris service. Available at: <https://iaaras.ru/dept/ephemeris/online/>. Accessed on: 31.01.2024.*
44. Hain V. E., Lomize M. G. *Geotektonika s osnovami geodinamiki = Geotectonics with the basics of geodynamics*. M.: KDU:2005: 560 p. (In Russ.).
45. Mokhnach M. F., Prokofieva T. I. *Geologiya. Kniga 2. Geodinamika. Uchebnik = Geology. Book 2. Geodynamics. Textbook*. Saint Petersburg: RGGMU, 2011: 280 p. (In Russ.).
46. Gerasimov I. P. Questions posed by the geomorphology of the Azores. *Geomorfologiya = Geomorphology*. 1978;(1):(3—15). (In Russ.).

Информация об авторах

Борис Георгиевич Шерстюков, доктор географических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Лаборатория исследования последствий изменения климата, заведующий лабораторией, boris_sher@mail.ru.

Артём Борисович Шерстюков, кандидат географических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Лаборатория исследования последствий изменения климата, старший научный сотрудник, artem@meteo.ru.

Information about authors

Boris Georgievich Sherstyukov, Doctor of Geographical Sciences, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution “All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center, Laboratory for researching the consequences of climate change, Head laboratory, boris_sher@mail.ru.

Artem Borisovich Sherstiukov, Candidate of Geographical Sciences, Federal State Budgetary Institution “All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center, Laboratory for researching the consequences of climate change, senior researcher, artem@meteo.ru.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 14.03.2024

Принята к печати после доработки 14.05.2024

The article was received on 14.03.2024

The article was accepted after revision on 14.05.2024