

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.583.1

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА ОКЕАНА С БАРИЦЕНТРИЧЕСКИМ ДВИЖЕНИЕМ СОЛНЦА

© 2021 г. Б. Г. Шерстюков*

Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных, Росгидромет, Обнинск, Россия

*e-mail: boris_sher@mail.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 19.02.2021 г.

Принята к публикации 02.03.2021 г.

Вращение Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы рассматривается как возможный фактор колебаний климата. Земля следует за Солнцем в его барицентрическом движении. Динамическое воздействие этого движения на колебательную климатическую систему предложено оценивать циклическим изменением момента инерции барицентрического движения Солнца и Земли вместе с ним. По известным координатам орбитального движения планет-гигантов нами получены ежегодные значения момента инерции движения Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы за 1800–2050 гг. Использовались данные о среднегодовой температуре поверхности Мирового океана в узлах географической сетки Земли за 1960–2018 гг. Методом асинхронного корреляционного анализа обнаружены высокие значимые корреляции между моментом инерции барицентрического движения Солнца и изменениями среднегодовой температуры поверхности Мирового океана в местах основных океанических течений с запаздыванием температуры на 32–37 лет. Наилучшие положительные коэффициенты корреляции (от 0.4 до 0.7) наблюдались вдоль траекторий холодных течений — циркумполярного Антарктического, Перуанского и Калифорнийского, а отрицательные (от –0.4 до –0.7) обнаружены на теплых течениях (Восточно-Австралийском, Куроисио, Северо-Атлантическом, Норвежском). Поверхностные изменения температуры оказались наиболее значимы в местах пересечения океаническими течениями подводных препятствий (подводные хребты и поднятия дна Мирового океана). Вклад изменений момента инерции движения Солнца вокруг центра масс Солнечной системы в изменения температуры поверхности океана в разных частях Мирового океана составил от 25 до 50% ее общей изменчивости. Предполагается, что циклические изменения момента инерции могут резонансно воздействовать на колебательную систему климата на ее избранных собственных частотах, близких к частотам внешних воздействий.

Ключевые слова: солнечная система, барицентрическое движение, температура океана, климат

DOI: 10.31857/S2587556621030146

ВВЕДЕНИЕ

Для объяснения причин колебаний климата часто привлекают гипотезы о космическом влиянии. Обсуждая реальность внешнего влияния, обычно ограничиваются сравнением огромной энергии наблюдаемых процессов в климатической системе с дополнительной малой переменной энергией, поступающей из космоса. При таком сравнении ответ на вопрос о реальности космико-земных связей всегда отрицательный. Переменная энергия действительно невелика, но при таком сравнении упускается важнейшее свойство климатической системы, определяющее другой механизм восприятия внешних воздействий, при котором не требуется большой энергии для влияния на климат.

Интерес представляют циклические космические воздействия на климатическую систему Зем-

ли. Признание того, что она обладает свойствами колебательной системы, ни у кого не вызывает возражений. Эта ее особенность кардинально влияет на восприимчивость ею внешних повторяющихся воздействий.

Поясним на простом примере. Аналогом простейшей колебательной системы является маятник (груз, подвешенный на нити). Период колебания маятника зависит только от длины его нити и не зависит от силы воздействий на него. Раскачать его можно слабыми повторяющимися воздействиями равной или соизмеримой частоты с его собственной частотой. Соизмеримыми называют частоты, которые имеют малые целочисленные соотношения между собой, например 1 : 2, 1 : 3, 2 : 3, 3 : 2 и т.д. На другой частоте раскачать этот маятник не удастся. Подобно маятнику колебательная климатическая система избирательно по-

частоте воспринимает повторяющиеся внешние воздействия независимо от силы их воздействия. Такой механизм влияния космоса на климат принципиально отличается от тех механизмов, которые обычно подразумеваются в исследованиях космико-земных связей. Важна не столько величина энергии воздействия, сколько частота повторения таких воздействий.

Климатическая система обладает набором собственных частот и открыта для космоса. Его влияние на земные процессы складывается из повторяющихся циклических воздействий разной природы со своим широким набором частот. Принципиально важно при исследовании космико-земных связей учитывать, что колебательная климатическая система, по аналогии с маятником, способна воспринимать повторяющиеся воздействия космических сил только на частотах, равных ее собственным частотам, или на соизмеримых частотах.

В статье изложены новые результаты работы, которая является продолжением ранее выполненных исследований (Шерстюков, 2019).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Земля является частью Солнечной системы, в которой все объекты подвержены циклическим взаимодействиям. Колебательная климатическая система много тысячелетий подвергается слабым повторяющимся воздействиям из космоса. Нерешенным остается вопрос о чувствительности климатической системы к этим воздействиям. Согласно теории колебательных систем (Блехман, 1971), малая величина внешних сил воздействия на колебательную систему не является препятствием для модуляции в ней резонансных колебаний на соизмеримых частотах. Резонанс может возникнуть даже при предельно слабой связи между объектами, если слабость сил компенсируется многократным их воздействием. При постановке настоящих исследований предполагалось, что слабые повторяющиеся воздействия космических сил на Землю за многие сотни или тысячи лет способны раскачать в климатической системе колебания на избранных ее собственных частотах, соизмеримых с частотами космических воздействий.

Наиболее вероятным местом в климатической системе для возникновения резонансных колебаний является Мировой океан. Так, известно о существовании колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких лет до порядка 1000 лет (Birchfield, 1994). Собственные частоты в разных частях и на разных глубинах Мирового океана различны и определяются физико-географическими условиями места (географической

широтой, расстояниями до континентов, рельефом дна океана), а также плотностью воды и другими параметрами. На планете обязательно найдутся места, в которых собственные частоты океана окажутся соизмеримыми с частотами повторяющихся космических воздействий.

Теория взаимодействия колебательных систем снимает требование о необходимости энергетического соответствия космических вариаций и наблюдаемых колебаний климата. Это принципиальное положение дает основания сравнивать наблюдаемые изменения климата со слабыми долгоживущими космическими вариациями. Из всех характеристик космических и климатических вариаций для анализа необходимо выбрать те, которые в большей мере отражают свойства колебательных систем.

В климатической системе Мировой океан задает колебания климата атмосферы в масштабах времени внутри столетия и несколько больше, которые наиболее чувствительны для человека.

В Солнечной системе циклически обладают орбитальные вращения планет и солнечная активность. Анализ начнем с планет и океана.

При изучении причин колебаний климата неоднократно ставился вопрос о влиянии на него планет (Байдал, 1987; Беязо, 1999; Виноградова, 1990; Дмитриев, Беязо, 2006, 2011; Завалишин, Коваленко и др. 1987; Котляков, 2012; Монин, 2000). В этих работах отмечался циклический характер их влияния. Планеты и Солнце вращаются вокруг их общего центра масс, называемого барицентром Солнечной системы. Он не совпадает с центром Солнца, и возникает диссимметрия Солнечной системы (Shirley, Fairbridge, 1997). В работе (Коваленко и др., 1987) рассматривалось вращение Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы, смещенного относительно центра Солнца. При этом предполагалось, что при появлении диссимметрии происходит изменение расстояния Солнце—Земля. Следствием предполагаемого смещения Солнца внутри орбиты Земли считалось изменение длительности сезонов и перераспределение солнечной радиации внутри года, которые приводили к изменению среднегодовой температуры. Позднее в (Богданов, Сурков, 2004) было показано, что изменения инсоляции при диссимметрии Солнечной системы не могут повлиять на климат, но отмечено, что внешнее воздействие на Землю при диссимметрии не ограничивается переменной инсоляцией.

В (Котляков, 2012) климатические изменения связываются с изменениями состояния полярного вихря. Особенности его изменений объясняются изменениями солнечной активности и диссимметрии Солнечной системы. В (Монин, 2000) многодекадные климатические циклы связывались с большим циклом Солнечной системы, ко-

торый формируется повторением конфигурации взаимного расположения Солнца, Юпитера и Сатурна и от которой зависит расстояние от центра Солнца до барицентра Солнечной системы.

В (Гудкович и др., 2005) при анализе внутривековых климатических изменений ледовитости Евразийских арктических морей и некоторых других показателей климата Земли была обнаружена 60-летняя цикличность, которая также объяснялась колебаниями притока солнечной радиации, вызванными изменениями расстояния между Землей и Солнцем при диссимметрии солнечной системы, возникающей от движения трех тел: Солнца, Юпитера и Сатурна.

Аналогично в (Дмитриев, Беязо, 2011) вековые изменения атмосферной циркуляции Северного и Южного полушарий связывались с вековым циклом диссимметрии солнечной системы, и утверждалось, что связь реализуется через изменения расстояния Солнце—Земля под влиянием Урана.

В нашей статье предлагается проверить реальность другого возможного динамического механизма зависимости климатических характеристик от орбитального движения планет Солнечной системы, не связанного с изменением притока солнечной радиации к Земле.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

В работе использовались ряды многолетних месячных значений температуры поверхности океана (ТПО), массив ERSST v3b в узлах географической сетки $2^\circ \times 2^\circ$ широты и долготы за 1854–2018 гг. (SST data, 2019)¹. Массив данных ERSST v3b представляет собой восстановленные ряды месячных аномалий ТПО относительно норм за 1971–2000 гг. Восстановление пропущенных данных статистическими методами выполнено авторами массива. В отличие от версии ERSST v3, новая версия ERSST v3b не включает спутниковые данные, которые, как было установлено, вызывают слишком сильное смещение. Данные ТПО в узлах до 1960 г. получены по фрагментарным сведениям, особенно в высоких широтах, и являются ненадежными, поэтому они не использовались в настоящей работе. По месячным данным были вычислены среднегодовые значения ТПО.

За многолетнюю историю в среднегодовых значениях ТПО можно обнаружить колебания климата с разными периодами от нескольких лет до нескольких десятилетий, которые накладываются на медленный тренд потепления. Исключим линейный тренд потепления на интервале 1960–2018 гг. Полученные отклонения от тренда

содержат многолетние колебания, которые предстоит исследовать.

В Солнечной системе планеты движутся по слабовозмущенным эллипсам вокруг Солнца. При грубом подходе принято считать, что система координат, центр которой совмещен с Солнцем, а оси направлены на звезды, выбранные соответствующим образом, является инерциальной. Инерциальной является система, которая неподвижна или совершает прямолинейное равномерное движение. Но на самом деле Солнце не стоит на месте, а совершает петлеобразное неравномерное движение в пространстве. Его траектория похожа на кардиоиду. Причина такого движения заключается в динамических воздействиях планет на Солнце. Планеты вращаются не вокруг центра Солнца, а каждая пара Солнце—планета стремится вращаться вокруг их общего центра масс, который смещен относительно центра Солнца. Солнце само перемещается в пространстве по некоторой траектории под воздействием орбитального вращения планет-гигантов вокруг их общего центра масс с Солнцем. В связи с этим правильнее считать инерциальной систему с началом координат в центре масс Солнечной системы (движение всей Солнечной системы в галактике не учитывается).

Как следует из уточненного 1-го закона Кеплера по Хлыстову с соавторами (2012), Земля движется вокруг Солнца, участвуя вместе с ним в движении вокруг барицентра Солнечной системы. Каждая большая планета вносит свой вклад в смещение Солнца относительно общего центра масс, а вместе они вынуждают Солнце двигаться в космическом пространстве по кардиоиде. Орбитальное вращение планет Земной группы с их малой массой не может заметно повлиять на центр масс всей системы, поэтому малые планеты синхронно повторяют замысловатые движения Солнца, обращаясь в то же время вокруг него. Вся орбита Земли, как единое целое, перемещается в космосе вокруг центра масс Солнечной системы. Дополнительные силы, возникающие на Земле при движении Земли вокруг барицентра, никогда не учитывались в исследованиях климата. Квазиритмические составляющие неравномерного движения пары Солнце—Земля по кардиоидам предположительно могут передавать часть своей энергии осевому вращению Земли и океаническим течениям вдоль широтных кругов вокруг Земли. Некоторые изменения скорости осевого вращения Земли, как следствие ритмичного движения Земли вокруг барицентра Солнечной системы, уже обнаружены (Вильсон, 2012). Всякий раз, когда в движении Солнца вокруг центра масс Солнечной системы наблюдается диссимметрия, происходит изменение в скорости вращения Земли (Вильсон, 2012). Те же силы могут воздействовать на зональную циркуляцию океана во всей его толще. Если

¹ Данные получены с веб-сайта ClimateDataGuide (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-extended-reconstruction-ssts-version-3-ersstv3-3b>).

Таблица 1. Доля планеты в суммарном моменте барицентрического движения Солнца, % от момента инерции барицентрического движения Юпитера

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Вклад, %	0.00001	0.00099	0.00021	0.00157	100.0	100.1	63.1	198.8

эта гипотеза верна, тогда возникающие тенденции изменения в горизонтальных зональных составляющих океанических течений неизбежно отразятся на вертикальных движениях водных масс и на температуре поверхности океана.

Наиболее благоприятные условия для круговых океанических течений существуют в Южном океане вокруг Антарктиды, где вдоль широтных кругов нет препятствий в виде континентов. Изменения в океанических течениях также могут возникать как компенсационные к изменениям скорости вращения Земли для сохранения суммарного осевого момента вращения системы Земля—океан—атмосфера. В обоих случаях начальной причиной изменений в океанических течениях предположительно является изменение момента инерции движения Солнца и Земли вместе с ним вокруг барицентра Солнечной системы.

Количественной оценкой появления неучтенных сил при таком движении Солнца и Земли вместе с ним вокруг барицентра может служить суммарный момент инерции орбитального вращения планет-гигантов вокруг оси, проходящей через центр масс Солнечной системы. Этот момент является динамической характеристикой барицентрического движения Солнца. Земля следует за Солнцем и испытывает воздействие на нее тех же сил, которые возникают при барицентрическом движении Солнца. Предполагается, что именно изменение момента инерции вращения Солнца относительно барицентра является основой механизма появления возмущений в циркуляции океана. Проверка этого предположения осуществляется методом корреляционного анализа временных рядов момента инерции орбитального вращения планет-гигантов и данных о температуре поверхности океана в узлах географической сетки.

На любую заданную дату момент инерции J орбитального вращения планеты i массой m_i , находящейся на расстоянии r_i от оси вращения, можно вычислить:

$$J_i = m_i r_i^2, \quad (1)$$

где r_i — векторное гелиоцентрическое расстояние до планеты с учетом ее гелиоцентрической долготы (углового положения на орбите), характеризующей в каждый момент времени направление вектора момента инерции в заданной системе координат. Различиями между гелиоцентрическим и барицентрическим расстояниями до планет

можно пренебречь, учитывая их малость по сравнению с самими расстояниями. Переменной величиной в (1) является направление вектора r .

Привлекая ежедневные астрономические данные, можно вычислить вектор момента инерции каждой планеты на заданную дату и разложить его на составляющие x_i и y_i ,

$$j_i = \{x_i; y_i\}.$$

Затем просуммировать составляющие по заданным планетам за все сутки заданного года:

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

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

В дальнейшем анализе будем использовать временной ряд, составленный из скалярных величин суммарного момента вращения планет-гигантов на каждый заданный год:

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

Подробнее расчетный метод описан в (Шерстюков, 2019). Погодичные ежесуточные значения гелиоцентрических долгот планет и расстояния от Солнца до планет получены из Института прикладной астрономии Российской академии наук (г. Санкт-Петербург). Основные принципы вычислений описаны в (Glebova et al, 2015).

Астрономические величины вычисляются с заведомо большой точностью на интервале нескольких столетий. Расстояния до планет были выражены в астрономических единицах, а массы планет — в долях массы Земли. Суммарные скалярные значения момента вращения планет вычислены по формулам (2)—(3) за 1700–2050 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Для сравнения вычислялись скалярные значения моментов инерции барицентрического движения планет. В табл. 1 приведены оценки вклада каждой отдельной планеты в суммарный момент барицентрического движения Солнца.

Из материалов табл. 1 следует, что планеты Земной группы практически не влияют на момент инерции вращения Солнечной системы, а четыре планеты-гиганта (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) дают вклады, сопоставимые между собой и на несколько порядков больше, чем планеты земной группы. Каждая отдельная планета-ги-

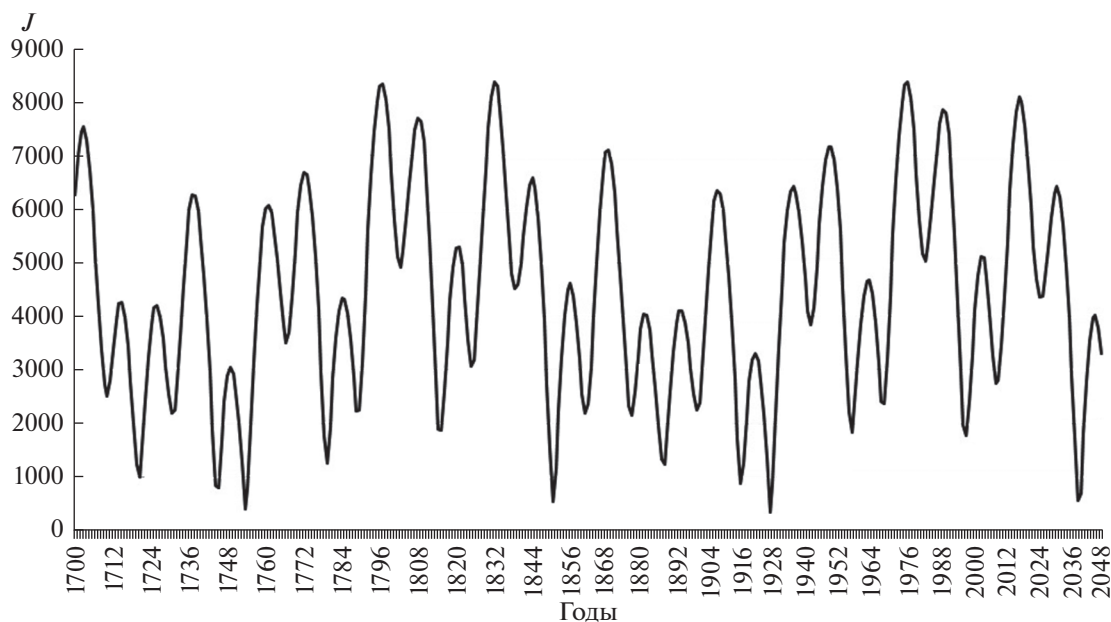


Рис. 1. Суммарный момент инерции вращения планет-гигантов относительно центра масс Солнечной системы.

гант придает Солнцу такое движение, при котором центр Солнца смещается относительно общего центра масс на величину меньше радиуса Солнца, но сочетание нескольких планет в одном секторе гелиоцентрических долгот приводит к смещению Солнца на величину больше двух радиусов Солнца (Хлыстов и др., 2012).

На рис. 1 приведены по годам вычисленные значения суммарного момента инерции вращения планет-гигантов относительно центра масс Солнечной системы.

На интервале 350 лет на рисунке видны повторяющиеся циклы момента инерции вращения длительностью около 12–13 и 37–39 лет.

Наличие минимумов в значениях суммарного момента в 1758 и 1937 гг. с интервалом 179 лет демонстрирует известный цикл барицентрического движения Солнца с периодом 178.77 года (Хлыстов и др., 2012).

Земля вовлекается в движение в космосе по кардиоиде вместе с барицентрическим движением Солнца (Хлыстов и др., 2012). Такое движение, как было сказано выше, может приводить к появлению зонального движения вокруг Земли жидкой и воздушной ее оболочек. Так как масса гидросферы почти в 300 раз больше массы атмосферы, то проявление неучтенных ранее сил следует ожидать, прежде всего, в возмущениях зональной циркуляции водных масс океана.

Возникновение резонансных возмущений в циркуляции океана возможно только на соизмеримых собственных региональных частотах характеристик океана с частотами повторяющихся

воздействий космоса на Землю. Океан трехмерный, многочастотный. Частоты повторяющихся космических воздействий тоже распределены в широком диапазоне, близком к диапазону собственных частот Мирового океана. В этих условиях можно ожидать, что в океане обязательно найдутся частоты, соизмеримые с частотами космоса, которые обеспечат резонансную раскачку возмущений в океане. Пока не известно, на каких глубинах, и в каких районах Мирового океана собственные частоты океана соизмеримы с частотами момента инерции барицентрического вращения. По данным о ТПО в узлах географической сетки мы сможем отследить только поверхностные проявления этого механизма.

Существует глобальная система океанической циркуляции (Большой конвейер), которая перераспределяет тепло по всему миру. Теория Большого океанического конвейера утверждает, что региональные океанические течения объединены в одну общую систему (Broecker, 1991). Двигателем конвейера является термохалинная циркуляция. Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло и влагу из одних регионов и слоев океана в другие по сложным, не совсем понятным траекториям. Выход аномалий на поверхность океана в разных его частях возможен с запаздыванием в несколько лет или десятилетий. Допускается существование колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких лет до порядка 1000 лет (Лаппо, 1984; Лаппо и др., 2006; Broecker, 1991). Термохалинная циркуляция является глобальным явлением, рас-

пространяющимся на Атлантический, Индийский и Тихий океаны. Анализируя асинхронную ковариационную структуру климатических индексов, в работе (Smith et al., 2008) описывается распространение сигнала изменения температуры по всему Северному полушарию через последовательность многократных превращений асинхронных атмосферно-океанических дальних связей. По оценкам тех же авторов, первоначальный сигнал изменения температуры в Северной Атлантике, распространяясь, достигает удаленных регионов полушария примерно 30 лет спустя.

В (Бялко, 2012) на основе других подходов показано, что отклик состояния атмосферы на внешнее воздействие происходит с запаздыванием, которое определяется необходимым временем релаксации, свойственным всей климатической системе. Оптимальные значения такого времени релаксации, полученные в (Бялко, 2012), — 25.1–27.5 лет. Близкие оценки запаздывания обнаружены и при других циклических внешних воздействиях на океан. Так, в (Swingedouw et al., 2011) обнаружено влияние циклических изменений солнечной активности на Северо-Атлантическое колебание с запаздыванием в 40 лет в результате смещения зоны тропической конвекции в Тихом океане.

Учитывая возможное запаздывание распространения возмущений ТПО, о котором было сказано выше и величина которого заведомо не известна для каждого узла, исследуем асинхронные корреляции ТПО с J со сдвигами от 0 до 50 лет (изменения ТПО отстают от изменений J). В расчетах асинхронных коэффициентов корреляции при сдвигах ряда J не изменяется количество парных членов рядов, по которым вычисляется корреляция, так как сдвигаемый ряд J вычислен с начала XVIII в.

В каждом исследуемом узле из серии асинхронных коэффициентов корреляции ТПО с J при сдвигах от 0 до 50 выделялся один максимальный по модулю коэффициент корреляции R , и при нем фиксировалась величина L запаздывания колебаний ТПО в узле относительно колебаний J . Ранее в (Шерстюков, 2019) анализировались только наилучшие положительные асинхронные коэффициенты корреляций, при этом случаи высокой отрицательной корреляции выпали из рассмотрения. Второе отличие новых исследований заключается в оценках связей по исходным данным без сглаживания рядов по трехлетиям.

Для построения карты пространственного распределения максимальных коэффициентов корреляции были отобраны узлы только со значимыми коэффициентами корреляции $|R| \geq 0.40$ (вероятность случайности менее 5%). В узле для каждого наилучшего асинхронного коэффициен-

та корреляции был известен сдвиг, при котором этот наилучший коэффициент получен. Узлы с $|R| \leq 0.39$ исключались из дальнейшего анализа. Анализ карты коэффициентов и сдвигов при них показал, что наиболее обширные поля значимых положительных и отрицательных асинхронных коэффициентов корреляции $|R| \geq 0.40$ наблюдаются при запаздываниях 32–37 лет. На карту (рис. 2) вынесены поля коэффициентов корреляции, модули которых оказались максимальными при сдвигах 32–37 лет. На этой карте максимальный положительный коэффициент составил $R = 0.73$, а максимальный по модулю отрицательный коэффициент корреляции оказался $R = -0.71$. Стрелками на рис. 2 показаны местоположения и направления основных океанических течений.

На рис. 2 четко видны обширные поля положительных и отрицательных значимых корреляций. В Южном полушарии от широт 45° – 50° ю.ш. и южнее до самой Антарктиды почти все пространство в Тихом океане от его западной до восточной границы занимает на карте поле положительных корреляций. Здесь положительные корреляции покрывают область самого мощного на Земле холодного Антарктического течения. Запаздывание изменений ТПО относительно J в южной части Тихого океана составляет 32–35 лет. Затем поле положительных корреляций с запаздыванием 35–36 лет распространяется в сторону умеренных южных широт и вдоль западного побережья Южной Америки охватывает область холодного Перуанского течения, которое является ответвлением от Антарктического течения. Еще ближе к экватору с запаздыванием 37 лет поле положительных корреляций охватывает область Южно-Пассатного течения.

Обширное поле отрицательных корреляций в южных широтах Тихого океана протянулось от берегов Австралии на восток до 120° з.д. Запаздывание изменений ТПО относительно J составляет 35 лет вблизи Австралии и 36 лет на долготах от 180° в.д. до 135° з.д. Это поле отрицательных корреляций приходится на теплое Восточно-Австралийское течение. Выявление полей высоких отрицательных корреляций является принципиальным уточнением результатов, изложенных в (Шерстюков, 2019).

В Северном полушарии в Тихом океане область положительных корреляций совпадает с районом холодного Калифорнийского течения вдоль западного побережья Северной Америки, направленного на юго-запад, которое затем переходит в Северо-Пассатное течение. Запаздывание здесь составляет 35 лет. А поле отрицательных корреляций вытянулось от Филиппинского моря на северо-восток вдоль теплого течения Кюросио до центральной части северной половины Тихого океана. Запаздывание здесь составило 35–37 лет.

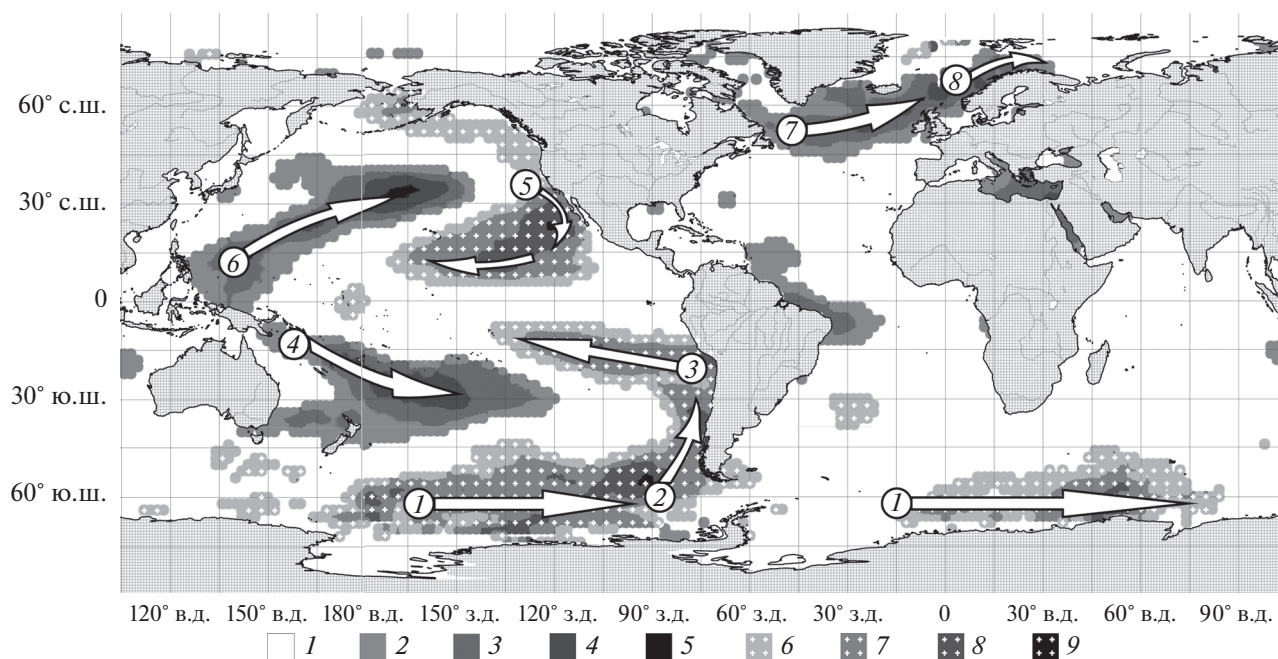


Рис. 2. Поля значимых асинхронных положительных и отрицательных коэффициентов корреляции между J и ТПО со сдвигами 32–37 лет. Узлы с положительной корреляцией помечены знаком “+”. На карте поля коэффициентов корреляции затемнены по интервалам: 1) $-0.39...+0.39$; 2) $-0.40...-0.49$; 3) $-0.50...-0.59$; 4) $-0.60...-0.69$; 5) ≤ -0.70 ; 6) $0.40-0.49$; 7) $0.50-0.59$; 8) $0.60-0.69$; 9) ≥ 0.70 . Стрелками показаны океанические течения: 1 – Антарктическое циркумполярное; 2 – Перуанское; 3 – Южно-Пассатное; 4 – Восточно-Австралийское; 5 – Калифорнийское и Северо-Пассатное; 6 – Кюросио; 7 – Северо-Атлантическое; 8 – Норвежское.

Увеличение момента инерции на всех холодных течениях сопровождается повышением ТПО, а на теплых течениях – понижением ТПО.

В Атлантическом и Индийском океанах положительные корреляции между J и ТПО наблюдаются только в Южном полушарии и опять в области Антарктического течения с запаздыванием изменений ТПО на 35 лет.

Отрицательные корреляции между J и ТПО в Атлантике наблюдаются в Северном полушарии в области Северо-Атлантического течения с запаздыванием 35 лет, в области Норвежского течения с запаздыванием 36–37 лет и в Южном полушарии в приэкваториальной части вблизи Южной Америки в области Гвианского течения с запаздыванием 35 лет.

В указанных районах океанов, с отрицательными корреляциями между ТПО и J при сдвигах на 35–37 лет, ранее в работе (Шерстюков, 2019) были отмечены положительные корреляции при сдвигах 16–18 лет. В этом нет противоречия. Наличие циклов 35–37 лет в значениях анализируемых рядов объясняет смену знака корреляций при сдвиге на полпериода. При сравнении по модулю величин коэффициентов асинхронной корреляции с указанными сдвигами обнаружено, что отрицательные коэффициенты корреляции при сдвигах 35–37 лет по модулю больше положитель-

ных коэффициентов при сдвигах 16–18 лет в тех же районах в области течения Кюросио, Восточно-Австралийского течения и в областях Северо-Атлантического и Норвежского течений. Это означает, что после изменений момента инерции баричесентрического движения Солнца через 35–37 лет в разных частях мирового океана одновременно возникают изменения ТПО разного знака. На холодных течениях ТПО повышается, а на теплых течениях ТПО понижается.

На рис. 3 в качестве примеров показаны многолетние изменения момента инерции и ТПО на оси холодного Антарктического течения в Тихом (см. рис. 3а) и в Индийском (см. рис. 3в) океанах в Южном полушарии Земли, а также в Северном полушарии – на оси холодного Калифорнийского течения (см. рис. 3б).

Географические узлы для демонстрации типичных связей выбраны по рис. 2 в пределах трех очагов тесных положительных корреляций ($R > 0.7$) произвольно. На рис. 3 ось времени соответствует значениям ТПО и единая для всех трех графиков. Но время запаздывания реакции ТПО на изменения момента инерции разное в трех океанах. Для наглядного сопоставления графики изменения момента инерции сдвинуты вправо на характерную величину запаздывания реакции ТПО. На Антарктическом течении в Тихом океане запаздывание со-

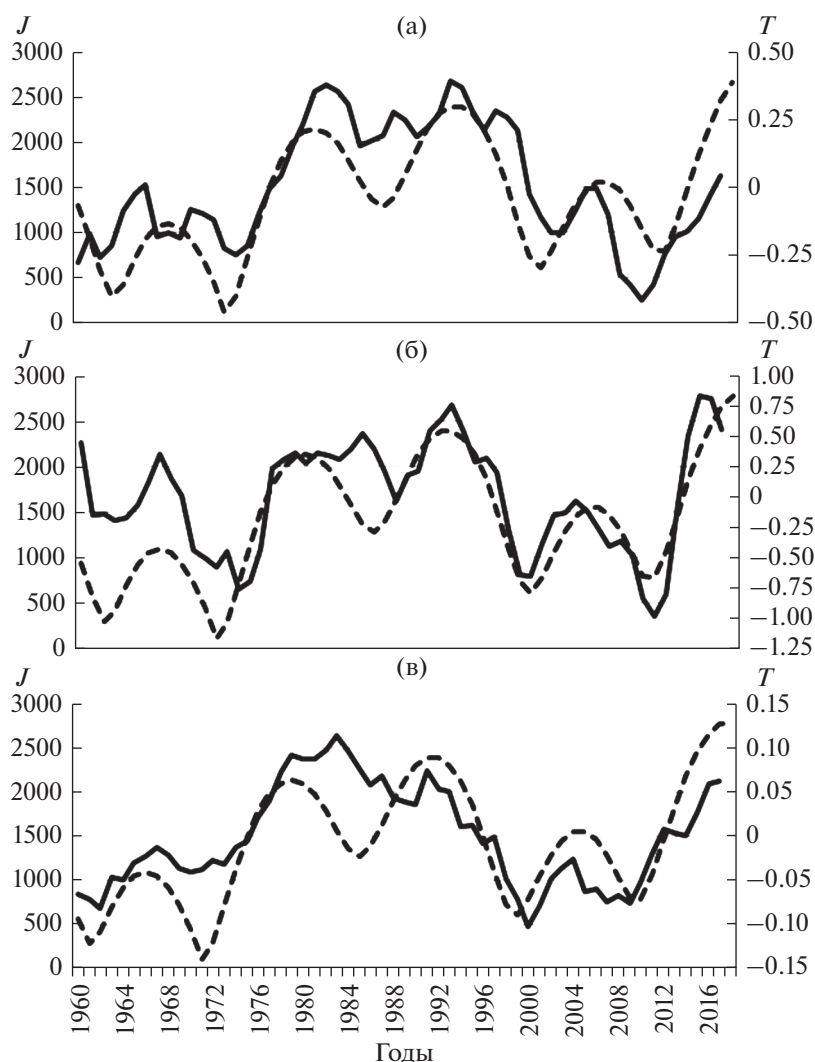


Рис. 3. Изменение момента инерции движения пары Солнце–Земля вокруг общего центра масс Солнечной системы (пунктир) и изменение температуры поверхности океана в районах океанических течений: (а) Антарктическое в Тихом океане 56° с.ш., 92° з.д.; (б) Калифорнийское 22° с.ш., 120° з.д.; (в) Антарктическое в Индийском океане 64° ю.ш., 50° в.д.

ставило 36 лет, в Индийском океане — 34 года, на Калифорнийском течении — 35 лет.

Обнаружены также важные особенности корреляций в связи с рельефом дна Мирового океана. На рис. 2 можно заметить повышенные коэффициенты корреляции ТПО с J в Индийском океане там, где ось Антарктического течения проходит над Африканско-Антарктической глубокой котловиной с запада на восток и упирается на глубинах в отрог Австрало-Антарктического поднятия, образующего гряды островов Хёрд и Кергелен на широтах 50°–65° ю.ш. в долготном интервале от 30° в.д. до 85° в.д. В Тихом океане максимальные корреляции наблюдаются над Восточно-Тихоокеанским поднятием (на широтах 45°–60° ю.ш. в интервале 80°–110° з.д.), в Атлантическом океане — у южной оконечности Южно-Атлантического хребта

(на широтах 60°–65° ю.ш. в долготном интервале 10° з.д.–15° в.д.).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты показывают, что с изменениями момента инерции барицентрического движения Солнца и Земли вместе с ним связаны изменения глобальной океанической циркуляции, проявления которых видны в изменениях температуры на поверхности океанов. Эти изменения наилучшим образом проявляются вдоль траекторий основных океанических течений Мирового океана.

Из всех упомянутых течений наиболее показательными являются в Южном полушарии самое мощное циркумполярное Антарктическое тече-

ние и его ответвление – Перуанское течение, переходящее в Южно-Пассатное течение. В Северном полушарии с изменениями момента инерции барицентрического движения Солнца связаны Калифорнийское течение в Тихом океане, переходящее в Северо-Пассатное течение, а в Атлантическом океане – северное продолжение Гольфстрима под названием Северо-Атлантическое течение и Норвежское течение. На самом Гольфстриме не обнаружено изменений ТПО, связанных с барицентрическим движением Солнца.

Южный океан с его циркумполярным течением – это единственное место на Земле, в котором континенты не мешают появлению зонального океанического течения вокруг Земли. Циркумполярное Антарктическое течение охватывает значительные территории от умеренного пояса Южного полушария до берегов Антарктиды. Известно, что в ряде районов Южного океана поток включает всю массу вод до океанского дна (Жуков, 1976). Западными ветрами такую особенность объяснить невозможно, несмотря на то, что Антарктическое течение называют течением Западных ветров. Западно-восточный поток циркумполярного течения Антарктики является объединяющим звеном для обмена водными массами на всех глубинах между основными океаническими бассейнами мира (White, Peterson, 1996). В значениях атмосферного давления на уровне моря, в скорости ветра, в ТПО и в протяженности морского льда над Южным океаном выявлены значительные межгодовые изменения. При этом отмечается, что возникают аномалии вдоль всего циркумполярного течения. По мнению авторов, эта система связанных аномалий имеет важное значение в динамике климата, как в Южном океане, так и за его пределами.

Протяженное поле высоких корреляций между J и ТПО в области квазизонального циркумполярного течения вокруг Антарктиды в Тихом, Атлантическом и Индийских океанах, с одинаковым временем запаздывания в трех океанах, позволяет предположить, что в Южном океане берет начало единый процесс формирования аномалий ТПО Мирового океана при изменениях J . На разных участках Антарктического течения вклад изменений J в изменения ТПО составляет от 25 до 50% общей изменчивости ТПО. В то же время аналогичные процессы с квазизональными течениями возникают в Северном полушарии, наиболее заметные в Атлантике в области Северо-Атлантического и Норвежского течений. Если изменение момента инерции барицентрического движения Солнца способствует в большей мере изменениям в зональных течениях, тогда можно предположить, что эффект не обнаружен на течении Гольфстрим по причине его меридиональной направленности.

Высокие корреляции ТПО с J в местах основных океанических течений показывают, что изменение момента инерции в барицентрическом движении Солнца и Земли вместе с ним создает в Мировом океане неучтенные ранее внешние силы, которые влияют на динамику течений в Большом океаническом конвейере. Этот результат совпадает с выводом (Бялко, 2012) о том, что теплообмен Большого конвейера представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров.

Усиление корреляций ТПО с J в географических узлах на пересечениях океаническими течениями препятствий, в виде подводных хребтов и поднятий дна океана, можно объяснить воздействием массовых сил, при изменении J , на всю толщу океана, включая глубинные течения. А проявление эффекта на поверхности океана объясняется усилением вертикального обмена в океане вблизи препятствий на пути течений.

ВЫВОДЫ

1. Циклическое движение Солнца и Земли вместе с ним вокруг общего центра масс Солнечной системы сопровождается изменениями температуры поверхности Мирового океана вдоль траекторий основных поверхностных океанических течений, являющихся частью глобальной океанической циркуляции. В разных частях Мирового океана на основных течениях вклад изменений момента инерции в изменения ТПО составляет от 25 до 50% общей изменчивости ТПО.

2. Изменение момента инерции в движении Солнца создает на Земле в Мировом океане неучтенные ранее внешние силы, которые влияют на динамику течений в Большом океаническом конвейере.

3. Изменение температуры на поверхности океана появляется через 32–37 лет после подобных изменений момента инерции движения Солнца вокруг центра масс Солнечной системы.

4. Наилучшие асинхронные корреляции изменений поверхностной температуры океана с изменениями момента инерции барицентрического движения Солнца наблюдаются в тех районах Мирового океана, в которых глубинные течения встречают препятствия на своем пути в виде подводных хребтов и поднятий дна океана или в виде гряды островов.

5. Влияние подводных препятствий на обнаруженные эффекты является косвенным свидетельством проявления массовых сил динамического космического воздействия на глубинные течения Мирового океана, составляющих Большой океанический конвейер. Запаздывание эффекта на поверхности океана объясняется временем, необ-

ходимым для вертикального переноса возмущений из нижележащих слоев.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 18-05-00721, 18-45-160006 и 20-5500014.

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, projects nos. 18-05-00721, 18-45-160006, and 20-5500014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Байдал М.Х.* О временной сопряженности некоторых климатических характеристик с внешними факторами // Тр. ВНИИГМИ МЦД. 1987. Вып. 141. С. 23–28.
- Белязо В.А.* Планетные циклы в колебаниях атмосферной циркуляции и их проявление в некоторых процессах Арктики // Тр. ААНИИ. 1999. Т. 441. С. 46–51.
- Блехман И.И.* Синхронизация динамических систем. М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. лит.-ры, 1971. 894 с.
- Богданов М.Б., Сурков А.Н.* О возможности влияния движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы на изменение климата // Изв. Саратовского ун-та. 2004. Т. 4. Вып. 1–2. С. 146–148.
- Бялко А.В.* Релаксационная теория климата // Успехи физ. наук. 2012. Т. 182. № 1. С. 111–116.
- Вильсон Ян Р.Г.* Изменение во вращении Земли относительно барицентра и климатический эффект // Современные глобальные изменения природной среды / отв. ред. Н.С. Касимов и Р.К. Клиге. М.: Научный мир, 2012. Т. 3. Факторы глобальных изменений. С. 78–102.
- Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е.* Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины // Метеорология и гидрология. 2005. № 6. С. 5–14.
- Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. СПб.: Гидрометеиздат, 2006. 360 с.
- Дмитриев А.А., Белязо В.А.* Ритмика атмосферной циркуляции приполярных районов Атлантического океана и их космико-геофизическая обусловленность // Уч. зап. Рос. гос. гидромет. ун-та. 2011. № 19. С. 86–100.
- Жуков Л.А.* Общая океанология / под ред. Ю.П. Дорониной. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 376 с.
- Завалишин Н.Н., Виноградова Г.М.* О связи аномалий месячных температур воздуха с циклом Хейла и динамикой расстояния Солнце–Земля // Тр. СибНИГМИ. 1990. Вып. 93. С. 25–32.
- Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М., Николаев В.Г.* Исследование причин изменчивости климата // Агроклиматические ресурсы Сибири: Сб. трудов ВАСХНИЛ Сиб. отд. Новосибирск, 1987. С. 103–113.
- Котляков В.М.* О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-Земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110–114.
- Ланно С.С.* К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане // Исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы. М., 1984. С. 125–129.
- Ланно С.С., Добролюбов С.А., Лозовацкий И.Д., Морозов Е.Г., Соков А.В., Шаповалов С.М.* Трансформация вод антарктического происхождения и меридиональный перенос в Атлантике к северу от экватора по данным квази-зонального разреза 2000 г. // Фундаментальные исследования океанов и морей. М.: Наука, 2006. Т. 1. С. 15–32.
- Монин А.С.* Влияние планет на климат Земли. М.: Научный мир. МГУ. 2000. С. 122–128.
- Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М.* Барицентрическое движение Солнца и его следствия для Солнечной системы // Современные глобальные изменения природной среды / отв. ред. Н.С. Касимов и Р.К. Клиге. М.: Научный мир, 2012. Т. 3. Факторы глобальных изменений. С. 62–77.
- Шерстюков Б.Г.* Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск, 2019. Вып. 184. С. 80–93.
- Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J.* Century/millennium internal climate oscillations in an ocean–atmosphere–continental ice sheet model // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. Iss. 6. P. 12459–12470.
- Broecker W.S.* The great ocean conveyor // Oceanography, 1991. V. 4 (2). P. 79–89.
- Glebova N., Lukashova M., Netsvetaeva G., Sveshinikov M., Skipnichenko V.* Russian astronomical ephemeris editions and software // Proceedings of the Journées 2014 “Systèmes de Référence Spatio-Temporels” / Z. Malkin and N. Capitaine (Eds.). Pulkovo observatory. 2015. P. 252–253.
- Shirley J.H., Fairbridge R.W.* Barycenter. In: Encyclopedia of Planetary Science / Encyclopedia of Earth Science. Dordrecht: Springer, 1997. https://doi.org/10.1007/1-4020-4520-4_38
- SST data: NOAA Extended Reconstruction SSTs, version 3 (ERSSTv3 & 3b). <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-extended-reconstruction-ssts-version-3-ersstv3-3b> (дата обращения 03.09.2019).
- Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J.* Improvements NOAAs Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006) // J. of Climate. 2008. V. 21. P. 2283–2296.
- Swingedouw D., Terray L., Cassou C., Voldoire A., Salas-Melia D., Servonnat J.* Natural forcing of climate during the last millenium: Fingerprint of solar variability. Low frequency solar forcing and NAO // Clim. Dynamics. Springer, 2011. V. 36. P. 1349–1364.
- White W.B., Peterson R.G.* An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent // Nature. 1996. V. 380. P. 699–702.

Dynamic Synchronization of Ocean Climate Fluctuations with the Barycentric Movement of the Sun

B. G. Sherstyukov*

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information—World Data Center, Roshydromet, Obninsk, Russia

*e-mail: boris_sher@mail.ru

The Sun rotation around the center of mass of the Solar System is considered as a possible factor of climate fluctuations. Earth follows the Sun in its barycentric motion. It is proposed to evaluate the dynamic effect of this movement on the oscillatory climate system by cyclic changes in the moment of inertia of the barycentric movement of the Sun—Earth pair. Based on the known coordinates of the orbital motion of the giant planets, the annual values of the moment of inertia of the Sun's motion around the center of mass of the Solar System for 1800–2050 are obtained. We used data on the average annual surface temperature of the oceans at the nodes of the geographic grid of the Earth for 1960–2018. By the method of asynchronous correlation analysis, high significant correlations were found between the moment of inertia of the barycentric movement of the Sun—Earth pair and changes in the average annual temperature of the surface of the World Ocean in places of major ocean currents with a temperature delay of 32–37 years. The best positive correlation coefficients (from 0.4 to 0.7) were observed along the trajectories of cold currents—circumpolar Antarctic current, Peruvian and California currents, and negative (from –0.4 to –0.7) were found in warm currents—East Australian, Kuroshio, North Atlantic, Norwegian. Surface changes in temperature turned out to be most significant at the places where ocean currents cross underwater obstacles (underwater ridges and uplifts of the bottom of the oceans). The contribution of the changes in the motion of the Sun—Earth pair around the center of mass of the Solar System to changes in the temperature of the ocean surface in different parts of the World Ocean comprised from 25 to 50% of its total variability. It is assumed that cyclic changes in the moment of inertia can resonantly affect on the climatic oscillatory system on natural frequencies of climatic system close to the frequencies of external influences.

Keywords: solar system, barycentric movement, ocean temperature, climate

REFERENCES

- Baidal M.Kh. On the temporal conjugation of some climatic characteristics with external factors. *Tr. VNIIGMI MTsD*, 1987, vol. 141, pp. 23–28. (In Russ.).
- Belyazo V.A. Planetary cycles in atmospheric circulation fluctuations and their manifestation in some processes of the Arctic. *Tr. AANII*, 1999, vol. 441, pp. 46–51. (In Russ.).
- Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J. Century/millennium internal climate oscillations in an ocean—atmosphere—continental ice sheet model. *J. Geophys. Res.*, 1994, vol. 99, no. C6, pp. 12459–12470. doi 10.1029/94JC00523
- Blekhman I.I. *Sinkhronizatsiya dinamicheskikh sistem* [Synchronization of Dynamic Systems]. Moscow: Nauka Publ., 1971. 894 p.
- Bogdanov M.B. Surkov A.N. On the possibility of the influence of the movement of the sun relative to the center of mass of the solar system on climate change. *Izv. Saratov. Univ.* 2004, vol. 4, nos. 1–2, pp. 146–148. (In Russ.).
- Broecker W.S. The great ocean conveyor. *Oceanography*, 1991, vol. 4, pp. 79–89.
- Byalko A.V. Relaxation theory of climate. *Usp. Fiz. Nauk*, 2012, vol. 182, no. 1, pp. 111–116. (In Russ.).
- Dmitriev A.A., Belyazo V.A. *Kosmos, planetarnaya klimaticheskaya izmenchivost' i atmosfera polyarnykh regionov* [Space, Planetary Climate Variability and the Atmosphere of the Polar Regions]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2006. 360 p.
- Dmitriev A.A., Belyazo V.A. Atmospheric circulation rhythm of the polar regions of the Atlantic Ocean and their space-geophysical conditioning. *Uch. Zap. Ross. Gos. Gidromet. Univ.*, 2011, no. 19, pp. 86–100. (In Russ.).
- Glebova N., Lukashova M., Netsvetaeva G., Sveshinikov M., Skipnichenko V. Russian astronomical ephemeris editions and software. In *Proc. of the Journées 2014 "Systèmes de Référence Spatio-Temporels"*. Malkin Z., Capitaine N., Eds. Pulkovo Observatory, 2015, pp. 252–253.
- Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Frolov I.E. Intra-century climate changes, ice cover of the Eurasian Arctic seas and their possible cause. *Meteorol. Gidrol.*, 2005, no. 6, pp. 5–14. (In Russ.).
- Khlystov A.I., Dolgachev V.P., Domozhilova L.M. Barycentric motion of the Sun and its consequences for the Solar system. In *Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoi sredy* [Modern Global Changes in the Natural Environment]. Vol. 3: *Faktory global'nykh izmenenii* [Factors of Global Change]. Kasimov N.S., Klige R.K., Eds. Moscow: Nauchn. Mir Publ., 2012, pp. 62–77. (In Russ.).
- Kotlyakov V.M. On the causes and consequences of modern climate change. *Solnechno-Zemnaya Fizika*, 2012, no. 21, pp. 110–114. (In Russ.).
- Kovalenko V.D., Kizim L.D., Pashestyuk A.M., Nikolaev V.G. Investigation of the causes of climate variability. In *Agroklimaticheskie resursy Sibiri* [Agroclimatic Resources of Siberia]. Novosibirsk, 1987, pp. 103–113. (In Russ.).
- Lappo S.S. On the causes of advection of heat to the north through the equator in the Atlantic ocean. In *Issledo-*

- vanie protsessov vzaimodeistviya okeana i atmosfery [Study of Ocean-Atmosphere Interaction Processes]. Moscow, 1984, pp. 125–129. (In Russ.).
- Lappo S.S., Dobrolyubov S.A., Lozovatskii, I.D., Morozov E.G., Sokov A.V., Shapovalov S.M. Water transformation of Antarctic origin and meridional transport in the Atlantic north of the equator according to the quasi-zonal section of 2000. In *Fundamental'nye issledovaniya okeanov i morei* [Fundamental Research of Oceans and Seas]. Moscow: Nauka Publ., 2006, vol. 1, pp. 15–32. (In Russ.).
- Monin A.S. The influence of planets on the Earth's climate. In *Global'nye izmeneniya prirodnoi sredy (klimat i vodnyi rezhim)* [Global Changes in the Natural Environment (Climate and Water Regime)]. Moscow: Nauchn. Mir. Publ., 2000, pp. 122–128. (In Russ.).
- Sherstyukov B.G. The moment of inertia of the Sun's movement relative to the center of the Solar System mass and long-term fluctuations in the temperature of the ocean surface. *Tr. VNIIGMI MTsD*, 1987, vol. 184, pp. 80–93. (In Russ.).
- Shirley J.H., Fairbridge R.W. Barycenter. In *Encyclopedia of Planetary Science*. Encyclopedia of Earth Science. Dordrecht: Springer, 1994, pp. 62–63. doi 10.1007/1-4020-4520-4_38
- Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J. Improvements NOAAs historical merged land–ocean temp analysis (1880–2006). *J. Clim.*, 1994, vol. 21, pp. 2283–2296.
- Swingedouw D., Terray L., Cassou C., Voldoire A., Salas-Melia D., Servonnat J. Natural forcing of climate during the last millenium: Fingerprint of solar variability. *Clim. Dyn.*, 2011, vol. 36, pp. 1349–1364.
- The Climate Data Guide: SST data: NOAA Extended Reconstruction SSTs, version 3 (ERSSTv3 & 3b). Huang B., Livermore J., Smith T., National Center for Atmospheric Research Staff, Eds. Available at: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-extended-reconstruction-ssts-version-3-ersstv3-3b>. (accessed 03.09.2019).
- White W.B., Peterson R.G. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent. *Nature*, 1996, vol. 380, no. 6576, pp. 699–702.
- Wilson J.R.G. Change in the Earth's rotation relative to the barycenter and the climatic effect. In *Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoi sredy* [Modern Global Changes in the Natural Environment]. Vol. 3: *Faktory global'nykh izmenenii* [Factors of Global Change]. Kasimov N.S., Klige R.K., Eds. Moscow: Nauchn. Mir Publ., 2012, pp. 78–102. (In Russ.).
- Zavalishin N.N., Vinogradova G.M. On the connection of monthly air temperature anomalies with the Hale cycle and the dynamics of the Sun - Earth distance. In *Tr. Sibirskogo regional'nogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta* [Proceedings of the Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute]. Novosibirsk: SO RAN, 1990, vol. 93, pp. 25–32. (In Russ.).
- Zhukov L.A. *Obshchaya okeanologiya* [General Oceanology]. Doronin Yu.P., Ed. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976. 376 p.