

УДК 551.465.7

О СОГЛАСОВАННОСТИ МУЛЬТИДЕКАДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА И ДЛИТЕЛЬНОСТИ СУТОК

© 2021 г. В. А. Безверхний*

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер., 3, Москва, 119017 Россия

**E-mail: vabezv@mail.ru*

Поступила в редакцию 07.12.2020 г.

После доработки 02.03.2021 г.

Принята к публикации 14.04.2021 г.

Выявлена согласованность вариаций мультидекадных (внутривековых) масштабов температуры поверхности Тихого океана в регионе Niño 3.4 и колебаний длительности земных суток. В пользу предположения о внешнем воздействии, вызывающем эти вариации, рассмотрена простая численная модель периодических колебаний.

Ключевые слова: климат, длительность суток, температура океана, Эль-Ниньо

DOI: 10.31857/S0002351521040039

ВВЕДЕНИЕ

На климатическую систему и океан влияют внешние факторы и сложные внутренние взаимосвязи ее компонентов. В вариациях мультидекадного (внутривекового) масштаба, обнаруженных в изменениях уровня океана и температуры его поверхности, ряде других климатических характеристик, выделены циклы длительностью около 20 и 60 лет [1, 2]. Вместе с тем данные измерений длительности суток (LOD – length of day) показали, что их годовые отсчеты также содержат подобные циклы, хорошо заметные на их графике с конца XIX в. В [1] выделены квазипериодические 20- и 60-летние колебания в вариациях длительности земных суток, аномалиях глобальной температуры поверхности и уровня океана и ряде других индикаторов изменчивости климата при помощи метода многоканального сингулярного спектрального анализа. Там же высказано предположение о существовании физической основы связи этих процессов. В [2] в глобальных и региональных вариациях уровня океана выделено квазипериодическое колебание с периодом около 55 лет для глобального и около 64 лет для региональных вариаций уровня океана в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах. Анализ выполнен с помощью простой модели, включающей линейный тренд и синусоиду с переменными амплитудой, периодом и начальной фазой (“bias + trend + long-period sinusoids”). Ниже проведен совместный анализ колебаний LOD и вариаций

температуры поверхности Тихого океана (SST – sea surface temperature) в экваториальной полосе в регионе Niño 3.4. В отличие от методов спектрального анализа [1] и моделирования [2], выделяющих узкие полосы частот $1/20$ и $1/60$ год⁻¹ предполагаемых квазипериодических колебаний, исследуется временная изменчивость и связь LOD и SST во всем диапазоне мультидекадных вариаций при помощи низкочастотной фильтрации, подавляющей колебания с периодами, меньшими 10–11 лет, и кросс-корреляционного анализа.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Использовались среднегодовые данные 1870–2019 гг. о вариациях значений температуры поверхности океана в экваториальном поясе Тихого океана, точнее в регионе Niño 3.4, имеющем координаты (5° с.ш.–5° ю.ш., 120°–170° в.д.) и данные 1623–2018 гг. о вариациях отклонений длительности суток от эталонной величины – 86400 с: (https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.data) (<https://www.iers.org/IIERS/EN/Science/EarthRotation/LODssince1623.html>).

Для выделения мультидекадных вариаций (с периодами более 10–11 лет) в среднегодовых значениях SST применялось скользящее сглаживание при помощи 31-точечного весового окна Кайзера, имеющего форму, близкую к кривой Гаусса [3]. Окно такой формы, как и 10-точечное прямоугольное весовое окно (с коэффициентами, равными 0.10), обеспечивает низкочастотную

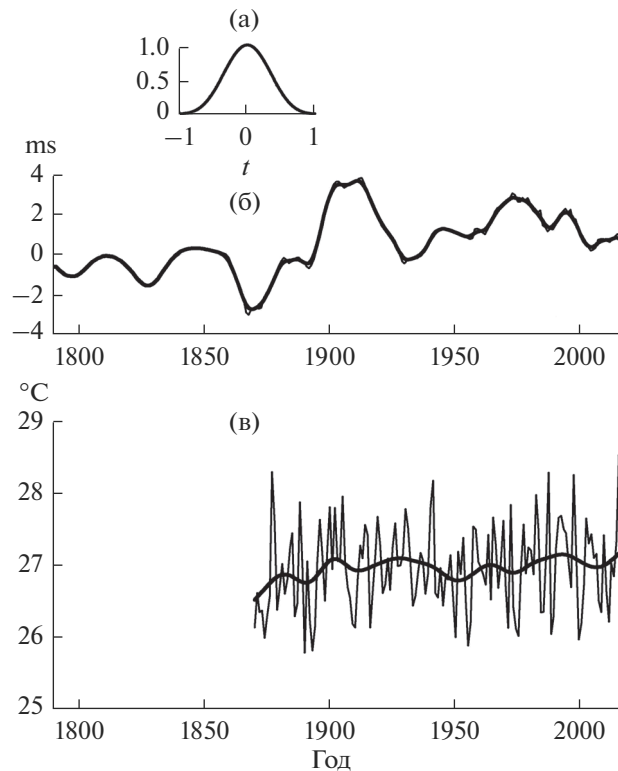


Рис. 1. Форма весового окна Кайзера (а); отклонения LOD от эталонных 86400 с (б), SST в регионе Niño 3.4 (в) (тонкие линии) и их сглаженные вариации (жирные линии).

фильтрацию SST, подавляя спектральные составляющие с периодами, меньшими или равными 10 лет. В отличие от прямоугольного окна, имеющего самый высокий уровень боковых лепестков в спектре, окно Кайзера по построению наиболее эффективно подавляет просачивание высокочастотных компонент сигнала. Поэтому вполне обосновано применение окна Кайзера при сглаживании вариаций SST в регионе действия Эль-Ниньо, имеющих максимальные амплитуды колебаний с периодами 4–6 лет. Колебания LOD оцифрованы с малой разрядностью (от 1 до 3 знаков), поэтому применено их слабое сглаживание с 11-точечным окном Кайзера с целью устранения “ступенек” в их графике. Кросскорреляционный анализ сглаженных вариаций выполнялся при помощи вычисления стандартной кросс-

реляционной функции для выбранных фрагментов данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 представлены графики LOD, SST и их сглаженные колебания, полученные при помощи 11-точечного и 31-точечного весового окна Кайзера соответственно. На долю сглаженных вариаций SST приходится 5.48% всей дисперсии SST.

При помощи стандартной кросскорреляционной функции получено несколько оценок корреляции сглаженных вариаций SST и LOD. Эти значения приведены в таблице.

Ряд LOD имеет значительно большую протяженность, чем SST. С учетом значительного запаздывания SST относительно LOD можно рас-

Таблица 1. Величины запаздывания (φ), соответствующие значения кросс-корреляции (ρ) и стандартной ошибки (в скобках) между сглаженными вариациями SST и LOD на нескольких интервалах.

Интервалы наблюдений	1870–2018 1870–2018	1870–2018 1870–2018	1850–1999 1870–2019	1862–1993 1882–2013
φ , лет	0	19	0	0
$\rho(\varphi)$	0.45 (0.15)	0.54 (0.18)	0.67 (0.12)	0.79 (0.01)

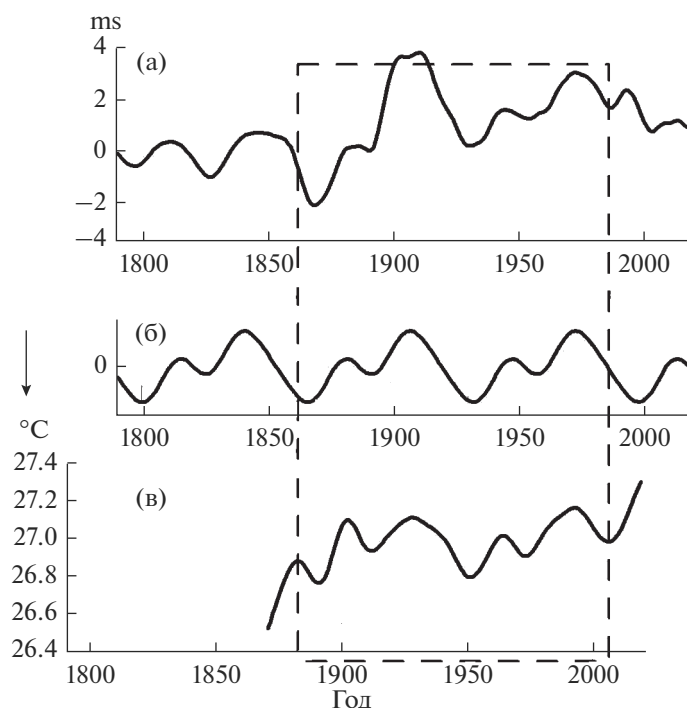


Рис. 2. Сглаженные вариации отклонений LOD от эталонных 86400 с (а), модели Mod (б) и SST (в). Области высокой корреляции LOD и SST выделены штриховыми линиями.

считать корреляции, выбрав начало отсчетов ряда LOD также и на 19–20 лет ранее. Вычисление кросс-корреляций LOD и SST показало существенное повышение корреляции ρ от 0.54 для синхронных отсчетов до 0.67 при сдвиге на 20 лет начала отсчетов ряда LOD на всем 150-летнем протяжении этих рядов. На соответствующих 125-летних отрезках LOD (1862–1987 гг.) и SST (1882–2007 гг.) величина ρ достигает 0.79. Отметим, что у сглаженных вариаций LOD и SST имеется еще один, меньший по величине, локальный максимум кросс-корреляционной функции, $\rho = 0.45$ при нулевом запаздывании.

Сглаженные вариации LOD и SST более детально представлены на рис. 2а, 2в, причем график SST сдвинут влево относительно графика LOD с учетом запаздывания SST на 20 лет. На рис. 2б представлен график модельной кривой Mod, о котором речь идет ниже. Обращает на себя внимание согласованность мультидекадных вариаций LOD и SST на большом протяжении, точнее в интервале 1862–1987 гг. для LOD и на 20 лет позднее — для SST, причем их корреляция достигает величины 0.79. Эти участки выделены на рис. 2 штриховыми линиями.

Явная согласованность мультидекадных вариаций разнородных процессов LOD и SST дает основание для предположения о существовании

внешнего воздействия на геодинамику и климат, приводящего к таким вариациям. Как известно, в вариациях гравитации (приливных сил) имеется характерный период колебаний около 33 лет, связанный с моментами совпадения начала нового солнечного и лунного синодического года. В солнечно-земном магнитном поле происходят колебания напряженности с периодом около 22 лет. Колебания гравитации и напряженности магнитного поля могут вызывать колебания с этими периодами в недрах Земли на границе внешнего ядра и мантии. Кроме того, каждые 66 лет колебания ядра и мантии могут усиливаться при совпадении экстремумов колебаний напряженности гравитационного и магнитного полей. Заметим, что этот период соответствует комбинационной частоте для пары $1/22$ и $1/33$ (год^{-1}). Согласно сейсмическому зондированию, происходят изменения угловой скорости вращения ядра Земли до 0.05 – 0.1 град/год [4], по-видимому включающие (мульти)декадные колебания. (“A rotation rate of about 0.05 – 0.1° per year with possible decadal fluctuation can reconcile all temporal change observations from body waves, IC (inner-core) scattering, and normal mode data”). Эти прямые измерения и результаты моделирования передачи (transfer) углового момента от внешней границы ядра и мантии к вышележащим слоям и поверхности Земли [5] косвенно указывают на существование механизма

ритмического воздействия на приливные явления, подводную вулканическую, сейсмическую активность и океанскую циркуляцию. Можно ожидать и проявления отклика на указанное геодинамическое воздействие с тремя характерными периодами 22, 33 и 66 лет в колебаниях скорости вращения Земли и вариациях притока тепла к поверхности океана за счет океанской циркуляции, теплопереноса из нижележащих оболочек Земли через океанское дно.

Рассмотрим простую модель периодического воздействия, включающую гармонические колебания с периодами 22, 33 года и 66 лет:

$$\text{Mod}(t) = 0.7 \sin(2\pi t/22) + 2 \sin(2\pi t/33) - 3 \sin(2\pi t/66), t = 1, 2, \dots, N,$$

где $N = 349$ — длина ряда (как и у LOD). Фрагмент графика Mod, синхронный с LOD, представлен на рис. 26. График LOD демонстрирует повторение большинства экстремумов модельной кривой. В выделенном 125-летнем интервале мультидекадные вариации SST происходят согласованно как с LOD, так и с модельными с колебаниями. Корреляции Mod с LOD и SST на этом интервале достигают значений -0.83 и -0.92 соответственно. Локальные экстремумы в сглаженных вариациях SST и LOD имеют небольшие отклонения относительно их положений, которые могли бы быть при условии “жесткой связи” с моделируемым форсингом. С 2007 г. колебание SST утратило согласованность с Mod, но вплоть до 2013 г. все еще сохраняло “связь” с LOD и высокую корреляцию.

ОБСУЖДЕНИЕ

Напомним, что в [1] в вариациях ряда климатических характеристик, в частности в вариациях глобального уровня океана, выделены компоненты с периодами 20 и 60 лет, т.е. с близкими к двум из трех периодов вариаций Mod. Отметим также, что и в региональных вариациях уровня океана выделен характерный период 64 года, близкий к 66-летнему (см. [2], Fig. 1). В этих исследованиях в климатических характеристиках выделяются циклы с одним или двумя характерными масштабами колебаний. При подходе, основанном на сингулярном спектральном анализе [1], “связь” вариаций LOD и глобальной SST косвенно проявилась лишь в наличии двух периодов 20 и 60 лет в главных компонентах этих колебаний, а также и уровня океана при сопоставлении их с LOD. Заметим, что методы спектрального анализа обладают достаточной разрешающей способностью для разрешения пиков на близких частотах: $\sim 1/20$ и $\sim 1/30$ (год⁻¹). Но по какой-то причине в [1] на это

не обратили внимание, возможно потому, что в климатических характеристиках спектральная составляющая на частоте $1/30$ год⁻¹ может быть относительно небольшой. Все же при анализе необходимо принимать во внимание наряду с квази 20- и 60-летними также и на квази 30-летние моды колебаний. Метод скользящего сглаживания (низкочастотной фильтрации) с окном Кайзера позволил рассмотреть особенности вариаций SST на всем внутривековом масштабе. В отличие от подходов [1, 2], при этом не анализируются отдельные узкополосные компоненты и их корреляции. Такой подход позволил выявить согласованное чередование экстремумов сглаженных вариаций SST в регионе Niño 3.4 и LOD на протяжении 130 лет. На скорость вращения Земли влияют различные факторы, в частности геодинамические процессы, колебания глобального уровня океана. Что касается SST в регионе Niño 3.4, то на нее воздействуют инсоляция, зональные течения и пассатные ветры. Поэтому представляет значительный интерес проявление глобального форсинга, по-видимому связанного с гравитацией и солнечно-земным магнитным полем, в таких разнородных процессах, как вариации скорости вращения Земли и температуры поверхности океана в регионе Niño 3.4.

В [6] отмечается, наряду с другими работами (см. ссылки в [6]), что известные Модели глобальной циркуляции (GCM), применяемые в рамках проекта Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), удовлетворительно воспроизводят внутригодовые вариации региональных SST, представленные инструментальными данными, а также оценками вариаций SST по косвенным индикаторам (отложениям фораминифер, кораллам). Но заметное расхождение между результатами моделирования и реальными данными возникает уже на межгодовых масштабах и оно значительно увеличивается на масштабах, больших 10 лет. Это расхождение имеет систематический и региональный характер. В частности, в [6] установлено, что на масштабах 20–50 лет для модельных вариаций SST средние величины спектральной плотности имеют на широтах $\geq 30^\circ$ заниженные в 1.3 раза значения, а в тропиках они оказались меньшими в 1.9 раза относительно спектральных плотностей эмпирических данных (см. [6], с. 2531). Очевидно, на этих масштабах неучтенные в GCM факторы проявляются в большей степени в тропическом поясе океанов, чем вне тропиков. В результате анализа известных климатических индексов в статье [7] сделано заключение, что “расхождение между наблюдаемой и моделируемой изменчивостью климата на десятилетнем и большем масштабах имеет характерную когерентную структуру”. Оно свидетельствует о

проявлении в климатических параметрах глобальной мультideкадной осцилляции (“... discrepancies between the observed and simulated climate variability on decadal and longer timescale have a coherent structure suggestive of a pronounced Global Multidecadal Oscillation”). В результате возникает “существенная неопределенность при интерпретации наблюдаемых изменений климата” с использованием современных климатических моделей (“These results highlight a substantial degree of uncertainty in our interpretation of the observed climate change using current generation of climate models” [7]). Это расхождение может быть связано с неучтенным в климатических моделях влияния внешнего геодинамического фактора.

В статье [8] на основе анализа большого объема наблюдений и измерений гидрофизических и метеорологических характеристик и численного моделирования установлено, что “климатическая ритмика” (циклы 50–70 лет) климата XX в. “соответствует обнаруженной нами мультideкадной изменчивости теплосодержания верхнего деятельного слоя (ВДС) океана”. Предполагается наличие циклов накопления теплосодержания в ВДС и его “разгрузка” в атмосферу с цикличностью в пределах 50–70 лет. В регионе Niño 3.4 подобные циклы начинаются с годового периода, их амплитуды экстремальны во время событий Эль-Ниньо/Ла-Нинья. Можно предположить, что подобный механизм накопления и высвобождения тепла в ВДС в регионе Niño 3.4 действует и на периодах около 22 и 33 лет, но заметно сильнее проявляется на кратном периоде около 66 лет. Сложность океанской и атмосферной циркуляции в других регионах может затруднить выявление степени зависимости SST от воздействия внешних факторов.

Согласованность колебаний LOD и SST мультideкадных масштабов проявляется в экваториальном поясе Тихого океана, где действуют зональные течения: приповерхностные Северное и Южное пассатные, межпассатное и мощное подповерхностное противотечение (Equatorial Undercurrent – EUC). В этом регионе, включающем регион Niño 3.4, перенос тепла между атмосферой и океаном на межгодовых масштабах подробно исследован (см. [9, 10] и ссылки в них). В центральной части (стрежне) на глубине около 80 м скорость EUC достигает 1 м/с, оно переносит массы воды около $30\text{--}40 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$. Как известно, это течение “поддерживает” зональный градиент SST в Тихом океане [9], влияющий на атмосферную циркуляцию в тропиках, на погоду и климат в этом и других регионах. На основе данных реанализа NCEP 1948–1999 гг. и моделирования океанской циркуляции при помощи OGCM (Oceanic General Circulation Model) в [9] показа-

но, что в экваториальной Пасифике “на межгодовых и больших масштабах вариациям усиления EUC, мелководной меридиональной циркуляции (питающей EUC) и экваториального апвеллинга соответствуют такие же вариации в транспорте водных масс”. По данным 1980–2002 гг., накопленным в ходе выполнения проекта ТАО (Tropical Atmosphere Ocean project) в этом регионе величина притока тепла (~85 PW), к поверхности океана через атмосферу соответствует океанскому переносу тепла в [9]. В вариациях скорости EUC по данным реанализа SODA (Simple Ocean Data Assimilation) за 1871–2008 гг. о скорости EUC, представленных в [10] (см., например, Fig. 2), выделяются квази 20- и 60-летние циклы. Эти результаты поддерживают предположение о ритмическом механизме накопления тепла и его выделения в атмосферу в ВДС Тихого океана в регионе экватора в ходе обмена угловым моментом при взаимодействии океана и атмосферы.

Заметим, что в [11] в результате численного моделирования выявлено несоответствие наблюдаемого роста уровня океана в XX в. за счет термического расширения океана и таяния ледяного покрова суши и характеристик вращения Земли (уменьшения скорости вращения, амплитуды и ориентации ее оси). В частности, наблюдаемое вековое замедление скорости вращения Земли за счет климатических факторов требовало роста уровня океана от 1.5 до 2 мм/год. Но, согласно оценкам 5-го оценочного доклада IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), этот прирост в 1900–1990 гг. составлял 1 ± 0.1 мм в год. В [12] эта проблема, названная “Munk’s enigma”, была устранена. Дополнительное замедление угловой скорости вращения Земли может происходить за счет “обмена угловым моментом между жидким внешним ядром и мантией”. Численное моделирование, выполненное в [12], показало хорошее соответствие полученной оценки роста уровня океана в XX в. историческим данным, записям датчиков приливов (1.2 мм/год) и вариациям LOD. Поэтому можно ожидать, что и внутривековые колебания LOD связаны не только с вариациями глобального уровня океана и отмеченным выше форсингом, но и через океанскую циркуляцию – с обменом угловым моментом между внешним ядром и мантией Земли. Модельные расчеты (*gufm1* model) [13], основанные на данных наблюдений вариаций геомагнитного поля в 1840–1990 гг., выявили внутривековые колебания в двух интервалах 20–30 и 60–90 лет движения магнитного потока на границе ядра и мантии. Маунд и Баффет [14] создали модель крутильных колебаний в системе ядро–мантия, включающую механизмы взаимодействия, такие как электромагнитные, топографические и гравитационные.

Гравитационный эффект в вариациях углового момента, влияющего на скорость вращения Земли, представлен на Fig. 6 [14]. На этом рисунке выделяются вариации скорости потоков во внешнем жидком ядре с периодами около 20, 30 и 60 лет, что согласуется с предполагаемым внешним периодическим форсингом с частотами 1/22, 1/33 и комбинационной частотой 1/66 лет⁻¹.

В [15] называется упомянутое в статье представление о взаимодействии между жидким ядром и мантией как основной причине, вызывающей декадные (точнее, внутривековые) вариации LOD (“The decadal instabilities in Earth’s rotation (DIER) are thought to be caused by the interactions between the Earth’s core and its mantle.”). Представленная в статье гипотеза как раз согласуется с этим механизмом взаимодействия. В [15] рассмотрена альтернативная гипотеза, согласно которой такие вариации LOD вызваны дрейфом литосферы относительно астеносферы (“(They) ... are actually caused by fluctuations in the angular velocity of lithospheric drift over the asthenosphere”). Она опирается на предположение о климатической обусловленности вариаций LOD за счет изменения уровня океана и перераспределения водных масс между океаном и континентами. Как следует из расчетов [12], эта гипотеза не находит подтверждения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение 130 лет вариации мультидекадных (внутривековых) масштабов скорости вращения Земли (с 1862 г.) и температуры поверхности в центральной части экваториального пояса Тихого океана происходили согласованно, причем такие вариации SST запаздывали относительно LOD на 20 лет. Представленные результаты дают основание полагать, что мультидекадные вариации LOD и SST в регионе Niño 3.4 могут быть связаны с внешним ритмическим воздействием солнечно-земного магнитного поля и гравитации на геодинамику и, посредством механизма накопления и высвобождения тепла в деятельном слое океана, воздействовать на температуру поверхностного слоя океана.

Автор выражает признательность Г.С. Голицыну и О.Г. Чхетиани за полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zotov L., Bizouard C., Shum C.K.* A possible interrelation between Earth rotation and climatic variability at decadal timescale // *Geodesy and Geodynamics*. 2016. V. 7. P. 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2016.05.005>
2. *Chambers D.P., Merrifield M.A., Nerem R.S.* Is there a 60-year oscillation in global mean sea level? // *Geophys. Res. Lett.* 2012. V. 39. L18607. <https://doi.org/10.1029/2012GL052885>
3. *Cappellini V., Constantinides A.G.D., Emiliani P.* Digital filters and their applications. Acad. Press. London, 1978. 393 p.
4. *Yang Y., Song X.* Origin of temporal changes of inner-core seismic waves // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2020. V. 541. Iss. 116267. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116267>
5. *Buffett B.A.* Core–Mantle Interactions. In: *G. Schubert* (Ed.). *Treatise on Geophysics*. Elsevier. Oxford. 2nd ed. 2015. V. 8. P. 213–224.
6. *Laepple T., Huybers P.* Global and regional variability in marine surface temperatures // *Geophys. Res. Lett.* V. 41. P. 2528–2534. <https://doi.org/10.1002/2014GL059345>
7. *Kravtsov S., Grimm C., Gu S.* Global-scale multidecadal variability missing in state-of-the-art climate models // *npj Clim. Atmos. Sci.* 2018. V. 1. Iss. 34. P. 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0044-6>. <https://www.nature.com/articles/s41612-018-0044-6>
8. *Бышев В.И., Нейман В.Г., Гусев А.В. и др.* К вопросу о происхождении междекадной изменчивости современного климата // *Тр. Гос. Океаногр. Инст.* 2019. № 220. С. 39–43.
9. *Izumo T.* The equatorial undercurrent, meridional overturning circulation, and their roles in mass and heat exchanges during El Niño events in the tropical Pacific ocean // *Ocean Dynamics*. 2005. V. 55. P. 110–123.
10. *Drenkard E.J., Karnauska K.B.* Strengthening of the Pacific Equatorial Undercurrent in the SODA Reanalysis: Mechanisms, Ocean Dynamics, and Implications // *J. Clim.* 2014. V. 27. P. 2405–2416.
11. *Munk W.* Twentieth century sea level: An enigma // *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 2002. V. 99. P. 6550–6555.
12. *Mitrovica J.X., Hay C.C., Morrow E., Kopp R.E., Dumberry M., Stanley S.* Reconciling past changes in Earth’s rotation with 20th century global sea-level rise // *Sci. Advances*. 2015. V. 1. № 11. e1500679. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500679>
13. *Stefan C., Dobrica V., Demetrescu C.* Core surface sub-centennial magnetic flux patches: characteristics and evolution // *Earth Planets Space*. 2017. V. 69. Iss. 146. P. 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0732-1>
14. *Mound J.E., Buffett B.A.* Mechanisms of core-mantle angular momentum exchange and the observed spectral properties of torsional oscillations // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. Iss. B08103. P. 1–12. <https://doi.org/10.1029/2004JB003555>
15. *Sidorenkov N., Dionis E., Bizouard C., Zotov L.* Decadal fluctuations in Earth’s rotation as evidences of lithospheric drift over the asthenosphere // *Proc. Journées*. 2019. P. 243–247. <https://syrtre.obspm.fr/astro/journees2019/files/sidorenkov.pdf>

On Coherence of Multidecadal Oscillations in Equatorial Pacific Sea Surface Temperature and the Length of Day

V. A. Bezverkhniy*

Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Pyzhevsky per., 3, Moscow 119017 Russia
**e-mail: vabezv@mail.ru*

The consistency multi-decadal (intra-centennial) variations of the Pacific sea surface temperature in the Niño 3.4 region and the Earth's Length of Day has been revealed. A hypothesis about common external factors causing these variations is proposed. The simple numerical model of external periodic forcing is considered.

Keywords: length of day, sea surface temperature, El Niño