

Установлено, что между аномалиями длительности суток (LOD), вариациями ежегодного числа (N_{eq}) сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 7.5$ и температурой поверхности Тихого океана в регионе Нино3.4 ($T_{Ni3.4}$), существует сильная взаимная корреляция на внутривековом масштабе колебаний от 20 до 90 лет. Предложена простая аналитическая модель в виде суммы 3 гармонических колебаний с периодами 22, 33 и 66 лет, которая хорошо согласуется с внутривековыми колебаниями в столь разнородных характеристиках, как вариации скорости вращения Земли, сильной сейсмичностью и температуры поверхности океана $T_{Ni3.4}$.

Ключевые слова: сейсмичность, длительность суток, Эль-Ниньо, корреляция

Введение. Как известно, мультideкадные вариации климата с периодами в диапазоне 50-70 лет тесно связаны с подобными вариациями температуры океана [1-3]. В статье [1] провели оценку мультideкадных вариаций (МВ) температуры поверхности океана (SST - sea surface temperature) в рамках международного проекта Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5 (CMIP5) с использованием 41 климатической модели для получения серии из 163 рядов SST. Спектральные оценки SST показали значительное систематическое расхождение данных измерений и модельных величин амплитуды мультideкадных вариаций SST в диапазоне периодов 50-70 лет. Для средних и высоких широт амплитуды модельных вариаций занижены в 1.3 раза, а для низких широт еще больше - в 1.9 раза. Такую особенность МВ величин амплитуды осредненных глобально температуры воздуха у поверхности Земли (SAT- surface atmospheric temperature) климатических моделей CMIP5 отметили и авторы [2]. Там же в глобальной и региональных SAT была выделена "выраженная мультideкадная осцилляция" (см. [2], Fig. 3c). Квазипериодические колебания с двумя характерными периодами около 20 и 60 лет выявлены в климатических и геодинимических характеристиках [4]: глобально осредненной температуре поверхности, уровне океана и длительности суток. Установлена сильная корреляция между МВ температуры и угловой скорости вращения Земли на протяжении последних 160 лет. Мультideкадные колебания LOD связывают с обменом угловым моментом на границе внешнего ядра и мантии Земли [5-8].

Цель работы состоит в выделении формы и совместном анализе ВВ колебаний LOD, N_{eq} и $T_{Ni3.4}$.

Методы анализа. Рассмотрены данные об годовых аномалиях длительности суток (LOD - length of day), среднегодовых вариациях температуры поверхности вод в экваториальной части Тихого океана, именно в регионе Нино 3.4 ($T_{Ni3.4}$) и данные о вариациях числа сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 7.5$ (N_{eq}). Для представленных относительно коротких временных рядов, содержащих ценную геофизическую информацию, представляется плодотворный подход, связанный с выделением формы их внутривековых вариаций при помощи низкочастотной фильтрации при помощи известного окна Кайзера. Проведено сравнение формы LOD, модели Mod и низкочастотных компонент $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} а также их кросс-корреляции на протяженных, более чем столетних, фрагментах.

Результаты на Рис. 1. Представлены форма сглаживающего временного окна Кайзера (а), вариационаномалий длительности суток (б), а также вариации $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} вместе с их низкочастотными частями (в-г).

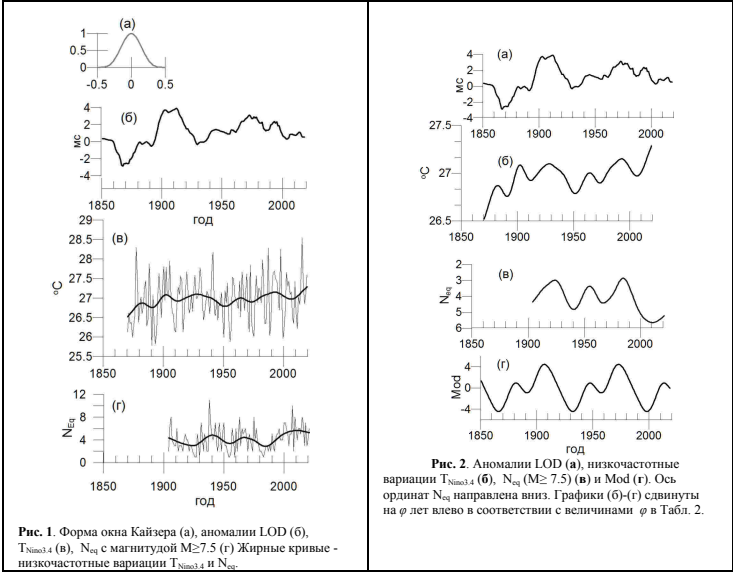


Рис. 1. Форма окна Кайзера (а), аномалии LOD (б), $T_{Ni3.4}$ (в), N_{eq} с магнитудой $M \geq 7.5$ (г) Жирные кривые - низкочастотные вариации $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} .

На Рис. 1 показан временной ход аномалий LOD, ВВ колебаний $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} и их низкочастотные части, полученные путем сглаживания вариаций $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} при помощи окна Кайзера. В Табл. 1. Приведены оценки кросс-корреляции с LOD ВВ колебаний $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} , полученные для всего интервала наблюдений и, ниже для крупного фрагмента каждой пары, составляющих 130 лет и 104 года соответственно. Т.к. LOD имеет более ранние отсчеты, то для расчетов кросс-корреляций, приведенных в нижней части таблицы начальные значения LOD были взяты на φ лет ранее

Таблица 1. Оценки величин запаздывания φ , кросс-корреляции r (выделены жирным шрифтом) и стандартной ошибки σ (в скобках) низкочастотных колебаний $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} относительно LOD на всем доступном интервале измерений и на протяженном фрагменте (Годы*).

	$T_{Ni3.4}$	N_{eq}
Годы	1870-2018	1904-2021
φ	19	10
$r \pm \sigma$	0.54 ± 0.18	-0.61 ± 0.19
Годы*	1879-2009	1904-1998
φ	19	11
$r \pm \sigma$	0.80 ± 0.10	-0.80 ± 0.06

Корреляционный анализ показывает довольно высокую корреляцию низкочастотных колебаний $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} с LOD.

На Рис.2, представленные аномалии LOD (а), низкочастотные колебания $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} , а также Mod (б-г соответственно). На этом рисунке можно заметить сходство формы всех упомянутых колебаний на большом протяжении. Корреляционный анализ показал довольно высокую корреляцию $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} с LOD и еще большую - с Mod (см. Табл. 2). Совместный анализ колебаний LOD и $T_{Ni3.4}$ опубликован в [9]. Там же отмечено сходство формы этих колебаний Запаздывание ВВ колебаний $T_{Ni3.4}$ от LOD и Mod составило 19 и 20 лет соотв В [9] для сравнения с представленными данными введена простая модель Mod в виде суммы трех гармонических колебаний с периодами 22, 33 и 66 лет. $-Mod(t) = 0.7 \sin(2\pi t/22) + 2 \sin(2\pi t/33) - 3 \sin(2\pi t/66)$, $r=1$, 2.

Фазс корреляции флуктуаций Эль-Ниньо, Эль-Ниньо-Южного колебания с LOD, по-видимому, впервые был отмечен в 1986 г. [10]

Таблица 2. Оценки величин запаздывания φ , кросс-корреляции r (выделены жирным шрифтом) и стандартной ошибки σ (в скобках) LOD, низкочастотных колебаний $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} относительно Mod на всем доступном интервале измерений и на протяженном фрагменте (Годы*).

	LOD	$T_{Ni3.4}$	N_{eq}
Годы	1850-2018	1870-2020	1904-2021
φ	2	20	11
$r \pm \sigma$	0.72 ± 0.12	0.42 ± 0.21	-0.84 ± 0.14
Годы*	1851-1990	1880-2010	1904-2021
φ	0	20	12
$r \pm \sigma$	0.83 ± 0.01	0.92 ± 0.05	-0.83 ± 0.10

(*) Начало отсчетов Mod сдвинуто на φ лет

При значительном запаздывании ВВ колебаний $T_{Ni3.4}$ и N_{eq} от LOD и Mod сохраняется сходство формы всех этих колебаний и кросс-корреляция на более чем столетних временных интервалах, причем начало отсчетов Mod, как и ранее LOD, выбирается на φ лет ранее, чем у сравнимого сигнала (см. в нижней части Табл. 1 и Табл.2). Примечательно, что ВВ колебания $T_{Ni3.4}$ и в последние годы сохраняют согласованность с колебаниями Mod. В тоже время связи остальных характеристик с Mod и между собой на ВВ масштабе теряются.

Можно предположить, что ВВ колебания сейсмической активности и температуры поверхности океана в регионе Эль-Ниньо могут быть опосредованно связаны с перераспределением углового момента на границе ядра и мантии, в оболочках твердой Земли и океане и особенностями зональной циркуляции экваториальных вод Тихого океана. Глубинная зональная циркуляция в этом регионе, по-видимому, имеет 4 уровня и достигает дна (см. [11]). Таким образом может осуществляться влияние геодинимки на теплообмен на границе океан-атмосфера на ВВ масштабе колебаний. ВВ вариации теплосодержания деятельного слоя океана под влиянием глубинной циркуляции в океане, возможно, увеличивают амплитуду "скоординированных" ВВ колебаний температуры поверхности в регионах Мирового океана (см. [2], Fig. 3c). Квази-периодические 20- и 60-летние колебания температуры поверхности и уровня океана с амплитудами до 0.3 °C и 30 мм соответственно дают заметный вклад в вариации климата, по данным измерений, ведущихся с 1850 г [4]. Когерентные ВВ колебания установлены в [12]. Сокращается на более коротких интервалах (до 90 лет) сходство формы ВВ колебаний осредненных глобально уровня и температуры поверхности океана.

Приложение Модель источника внутривековых колебаний Mod предложена в предположении модуляции внутривекового масштаба при обмене угловым моментом на границе ядра и мантии Земли при их дифференциальном вращении. колебания у работы геодиним. На работу геодиним действуют колебания главного геомагнитного поля с периодом около 22 лет и приливные

силы, имеющие вариации гравитационные колебания с периодом около 33 лет, через которые повторяются моменты совпадения лунного и солнечного года (и моменты совпадения минимального расстояния Земли от Солнца и новолуния). В результате взаимодействия периодических 22-летних колебаний напряженности главного магнитного поля Земли и 33-летних колебаний гравитации при дифференциальном вращении мантии и твердого ядра Земли относительно жидкого магнитного слоя на границе ядра и мантии возбуждается комбинационная частота колебаний с периодом 66 лет (1/66=1/22 - 1/33).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Laepple T., Huybers P. Global and regional variability in marine surface temperatures // Geophys. Res. Lett. . 2014. Vol. 41. P. 2528–2534. Doi:10.1002/2014GL059345.
- Kravtsov S., Grimm C. & Gu S. Global-scale multidecadal variability missing in state-of-the-art climate models // NPJ Clim. Atmos. Sci. 2018. Vol. 1. Iss. 34. P. 1-10. doi.org/10.1038/s41612-018-0044
- Любушин А.А. Циклические вариации климата: анализ данных, сценарии, прогнозы // Материалы Международной научной конференции "Глобальные Экологические Процессы". М.: Academia, 2012. С. 66–71.
- Zotov L., Bizouard C., Shum C.K. A possible interrelation between Earth rotation and climatic variability at decadal timescale, Geod. and Geodyn. 2016. V. 7, 216-222. http://dx.doi.org/10.1016/j.geog.2016.05.005
- 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. DOI:10.1029/2004JB003555
- 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
- Yang Y., Song X., 2023. Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation, Nat. Geosci., V. 16. 182–187. https://doi.org/10.1038/s41561-022-01112-z
- Dobrica V., Demetrescu C., Manda M. Geomagnetic field declination: from decadal to centennial scales // Solid Earth, . 2018. V. 9. P. 491–503, https://doi.org/10.5194/se-9-491-2018
- Безверхний В.А. О согласованности мультideкадных колебаний температуры поверхности в экваториальной части Тихого океана и длительности суток. Изв. РАН, ФАО, 2021. Т. 57. № 4. С. 414–420.
- Eubanks, T.M., Stepe, J.A., Dickey, J.O. The El-Nino, the Southern Oscillation and the Earth Rotation, In: Cazenave, A. (eds) Earth Rotation: Solved and Unsolved Problems. NATO ASI Series. 1986. V. 187. Springer. Dordrecht, https://doi.org/10.1007/978-94-009-4750-4_12.
- Holmes R. M., Moun J., Thomas L. N. Evidence for Seafloor-Intensified Mixing by Surface-Generated Equatorial Waves, Geophys. Res. Lett., 2016. V. 43. Iss. 3. P. 1202-1210. DOI: 10.1002/2015GL066472P
- Bezverkhnyy, V. A., and Gruzdev A. N. Consistency of Intra-Centennial Oscillations in Length of Day and Oceanic Characteristics // Russ. J. Earth. Sci. 2023. V. 23. ES4001. P.1-24. https://doi.org/10.2205/2023es000842

Дополнительная информация Многочисленные океанские, геомагнитные и геодинимические данные, представленные относительно короткими временными рядами, длительностью порядка 150 -170 лет для характеристик климатических вариаций позволили выделить во внутривековом диапазоне 20-90 лет квази-периодические колебания с периодом около 20 лет и вариации мультideкадного масштаба в диапазоне 50-70 лет и кросс-корреляционные связи [1-3]. Применялись методы сингулярного спектрального анализа, цифровой фильтрации, физического и математического моделирования. Подход, заключающийся в выделении "регулярной" компоненты ВВ масштаба в флуктуациях в геофизических данных при помощи низкочастотной фильтрации позволил получить форму таких колебаний и обнаружить определенную согласованность разнородных геофизических характеристик на протяженных временных интервалах длительностью около ста лет. Как упоминалось выше, низкочастотные колебания $T_{Ni3.4}$ и других характеристик были получены при помощи 31-точечного окна Кайзера, эффективно подавляющего просачивание мощных высокочастотных компонент. На Рис.1Д приведены в качестве примера показаны результаты низкочастотной фильтрации вариаций $T_{Ni3.4}$. Для сравнения на рисунке показаны результаты фильтрации этих же вариаций при помощи прямоугольного окна, имеющего большую эффективную ширину.

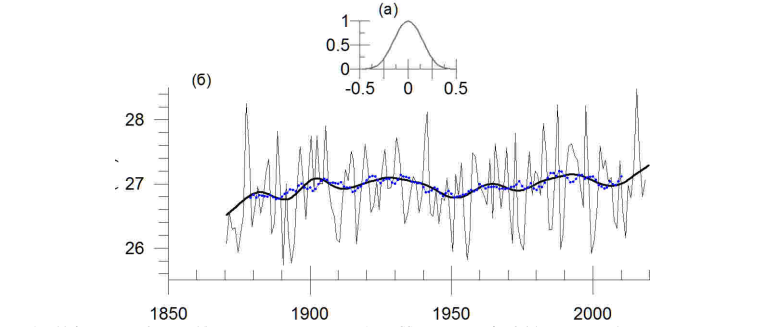


Рис. III. (а) форма окна Кайзера; (б) пример сглаживания колебаний SST в регионе Нино 3.4 (тонкая кривая) при помощи 31-точечного окна Кайзера (жирная кривая).

Как упоминалось выше, низкочастотные колебания $T_{Ni3.4}$ и других характеристик были получены при помощи 31-точечного окна Кайзера (см., например, Каламбет Ю.А., Козьмин Ю.П., Савохиных Ф.С., Фильтрация шумов. Сравнительный анализ методов // Аналитика. 2017. № 5. С. 88-101. DOI: 10.22184/2227-572X.2017.36.5.88.101). В статье [12] была установлена определенная согласованность колебаний LOD и ВВ колебаний в вариациях ряда океанских характеристик, таких как глобально и регионально осредненной температуре поверхности океана (SST) и глобально осредненном уровне океана (GMSL). По мере масштаба осреднения SST наблюдалось заметное ослабление 20-30-летних компонент колебаний. На серии рисунков их статьи [12] показаны оценки влияния LOD на вариации SST (Рис. 21f) и совместные графики LOD и ВВ колебаниями упомянутых океанских характеристик.

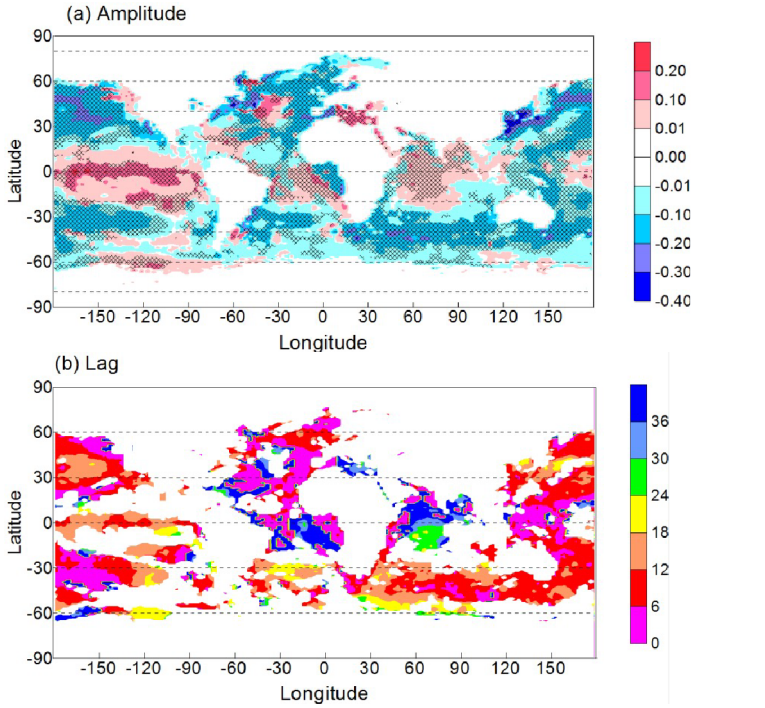


Рис. 2P (Figure 1 [12]. (a) Amplitude (°C per LOD standard deviation) and (b) lag (years) of the SST response to LOD variations. Areas of statistically significant (95%) amplitude values are shaded. Lag is only shown for statistically significant response.

Здесь следует отметить региональный характер величины запаздывания (отклика на внешний сигнал).