

port Workshop, Southampton Oceanography Centre, Southampton, UK, 25-29 June 2001. WOCE International Project office // WOCE Report N 175/2001, CLIVAR Report N 55. – 75 pp.

18. ICES Annual Science Conference Vigo. – Spain, 2004. – 324 p.
19. Lettre pigb-pmrc France-Changement global. – 2003. – N 15. – P. 30-38.
20. Marsh B. Recent variability of the North Atlantic thermohaline circulation inferred from surface heat and freshwater fluxes. WOCE International Project Office 2000 Report of WOCE North Atlantic Workshop, Institut für Meereskunde, Universität Kiel, Germany, 23-27 August 1999. WOCE International Project Office // WOCE Report N 169/2000. – 110 pp.
21. McGowan I.A., Cayan D.R., Dorman L.M. Climate – Ocean Variability and Ecosystem Response in the Northeast Pacific. Science. – 1998. – Vol. 281, 1998. – P. 210-217.
22. Miyamoto K. Long-term variability of Ekman pumping velocity fields in the North Pacific. WOCE International Project Office 2001 Report of WOCE/IGOFS Ocean Transport Workshop, Southampton Oceanography Centre, Southampton, UK, 25-29 June 2001 // WOCE International Project office, WOCE Report N 175/2001, CLIVAR Report N 55. – 75 pp.
23. Riview of the state of world Fishery resources: marine fisheries // FAO Fisheries Circular N 884. Rome. – 1995. – P. 64-66.
24. Rodionov S., Overland J.E. Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem // ICES Journal of Marine Science. – 2005. – Vol. 62, N 3. – P. 328-332.
25. Sharp G.D. Future climate change and regional fisheries: a collaborative analysis // FAO Fisheries Technical paper 452, Rome. – 2003. – 75 p.

УДК 551.463.6(265.1):521.933

С.К. Кудерский

О СВЯЗИ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЬ-НИНЬО С ВАРИАЦИЯМИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И КОЛЕБАНИЯМИ ОСИ ЕЕ ВРАЩЕНИЯ

Введение

Физическая природа широко известного феномена Эль-Ниньо (ЭН) до сих пор остается неясной. Без решения этой проблемы создать методы прогноза этого явления на длительный срок невозможно. Существующие многочисленные модели на основе статистических расчетов зачастую не оправдываются, а возможность прогноза ЭН ограничивается заблаговременностью в пределах 3 – 6 месяцев.

Известно, что ЭН сопровождается заметным замедлением скорости вращения Земли, а при наиболее интенсивных ЭН отмечены значительные колебания оси ее вращения. Возникло предположение, что своеобразным «толчком» или триггером к возникновению исследуемого феномена являются деформационные силы, возникающие под воздействием нутационного и ротационного приливов. Была поставлена задача вычислить ускорения горизонтальных составляющих деформационных сил названных выше приливов и сравнить их временной ход с межгодовой изменчивостью уровня океана и температурой поверхностных вод в прибрежной зоне Перу.

Материалы и методы

Величина нутационного прилива зависит от длины радиуса-вектора мгновенного полюса (РВМП), т.е. от расстояния между географическим (инерционным) полюсом и полюсом оси вращения планеты в фиксированный момент времени. Если ось вращения совпадает с инерционной осью – нутация отсутствует, длина РВМП

равна нулю. Длина РВМП рассчитывается по координатам полюса, измеряемым в сотых долях секунды дуги меридиана. Данные о среднемесячных координатах РВМП за 1955 – 1969 гг. были заимствованы из работы [5], а за период с 1970 по 2002 г. – из базы данных IRES в Интернете [9]. Расчет ускорения горизонтальной составляющей нутационного прилива выполнялся по формуле Швейдера и Костинского [1] для точки с координатами: $\varphi=0^\circ$ и $\lambda=180^\circ$ (Тихий океан). Уравнение для данной точки имеет простой вид:

$$F = -\omega^2 \cdot r \cdot X,$$

где F – ускорение горизонтальной составляющей нутационного прилива;

ω – угловая скорость вращения Земли (средняя);

r – средний радиус Земли (экваториальный);

X – координата РВМП оси вращения Земли.

Данные об изменениях скорости вращения Земли в виде длительности земных суток (LOD) за 1955 – 1961 гг. заимствованы из работы [2], а за 1962 – 2002 гг. – из базы данных IRES, представленной в Интернете [9]. Для вычисления ускорения, вызываемого горизонтальной составляющей ротационного прилива, применен эмпирический подход. На основе данных о ежедневной длительности суток за 1985 – 1992 гг. была вычислена средняя амплитуда полумесячного цикла в единицах LOD. Этот цикл вызван приливообразующей силой полумесячной доминирующей волны M_f с периодом 13,7 сут. Ускорение горизонтальной компоненты этой волны хорошо известно, оно составляет $13 \cdot 10^{-6}$ см/сек² [1].

Амплитуда среднего полумесячного цикла, вычисленная нами за 8 лет, составила: $\Delta LOD = 0,00092$ сек. Изменение длительности суток на 0,00092 сек соответствует ускорению, равному $13 \cdot 10^{-6}$ см/сек². На основании полученного соотношения величин были рассчитаны значения ускорений, вызванные силой деформации ротационного прилива в горизонтальной плоскости. В работах [1, 3, 4] показано, что максимальные величины горизонтальной компоненты деформационной силы нутационного и ротационного приливов наблюдаются на экваторе. Ускорение этой компоненты нутационного прилива направлено вдоль меридиана, а ротационного – вдоль параллели. Ускорение горизонтальной компоненты, направленное к югу (северу) от экватора, принято положительным (отрицательным), а вдоль экватора к востоку (западу) – положительным (отрицательным). Модуль вектора суммарного ускорения в горизонтальной плоскости получен как результат извлечения квадратного корня из суммы квадратов меридиональной (нутация) и зональной (ротация) составляющих. Направление ускорения суммарного вектора деформационной силы обоих приливов к юго-востоку принято положительным, а к северо-западу – отрицательным. Направление ускорения этого вектора к юго-востоку должно способствовать формированию в Юго-Восточной части Тихого океана условий, вызывающих рост температуры воды и повышение уровня океана, а направление к северо-западу – понижение температуры и уровня. Данные по температуре воды на поверхности океана в п. Кальяо за 1955 – 1985 гг. получены из работы [10] и за период с 1986 по 2000 г. – из климатического ежегодника [6], а по уровню океана в этом же порту за 1955 – 2000 гг. – из работы [7].

Временные ряды скорости вращения Земли, уровня океана и температуры воды включают в себя внутригодовые (сезонные) и долгопериодные (длительность циклов более 10 лет) вариации. Внутригодовые изменения были исключены путем усреднения характеристик за 12 месяцев. Для вычисления долгопериодной изменчивости полученные среднегодовые величины были подвергнуты скользящему усреднению с шагом 7 лет. После вычитания из временного ряда со среднегодовыми величинами значений долгопериодной вариации получен новый временной ряд с параметрами колебаний исследуемой характеристики на циклах длительностью от 2-х

до 10-ти лет (характерный спектр изменчивости феномена ЭН). Для расчета ускорения нутационного прилива в горизонтальной плоскости максимальная по величине X-координата РВМП со своим знаком выбиралась в конкретном году в теплый период года в Южном полушарии – с октября по апрель. Именно в этот период наиболее вероятно формирование феномена ЭН. Среднегодовая величина X-компоненты физического смысла не имеет, так как время действия деформационной силы нутационного прилива в одном направлении (к югу или северу от экватора) не превышает 7 месяцев (половина чандлерова цикла).

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов ускорений нутационного и ротационного приливов представлены на рис. 1. Величины ускорений обоих приливов – одного порядка ($a \cdot 10^{-6} \text{ см / сек}^2$).

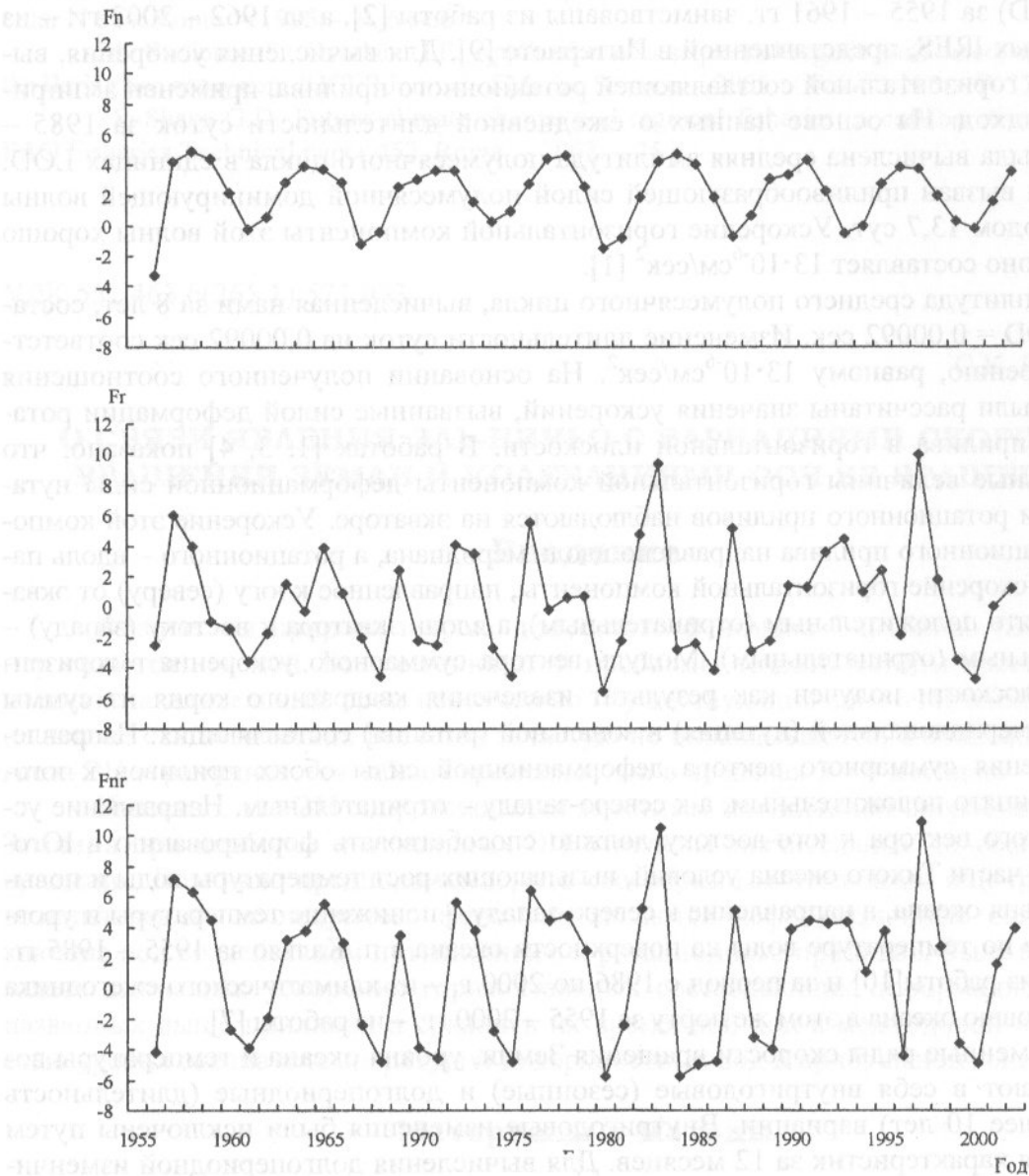


Рис. 1. Ускорение (10^{-6} см/сек^2) горизонтальной составляющей нутационного (Fn), ротационного (Fr) приливов и их суммарного модуля (Fnr) на экваторе ($\lambda = 180^\circ$)

Fig. 1. Acceleration (10^{-6} cm/sec^2) of the horizontal component of the nutation (Fn) and rotation (Fr) tides and their total module (Fnr) on the equator ($\lambda = 180^\circ$)

Кривая изменчивости ускорения нутационного прилива (F_n) содержит известную вариацию амплитуды (6 – 7 лет) свободного 14-месячного цикла в колебаниях оси вращения Земли. Вариации ускорений, вызванные ротационным приливом (Fr), представляют собой так называемые «нерегулярные» межгодовые колебания в режиме ротации Земли, физическая природа которых до сих пор не ясна. Суммарный модуль ускорения нутационного и ротационного приливов (F_{nr}) включает в себя черты изменчивости ускорения обоих приливов.

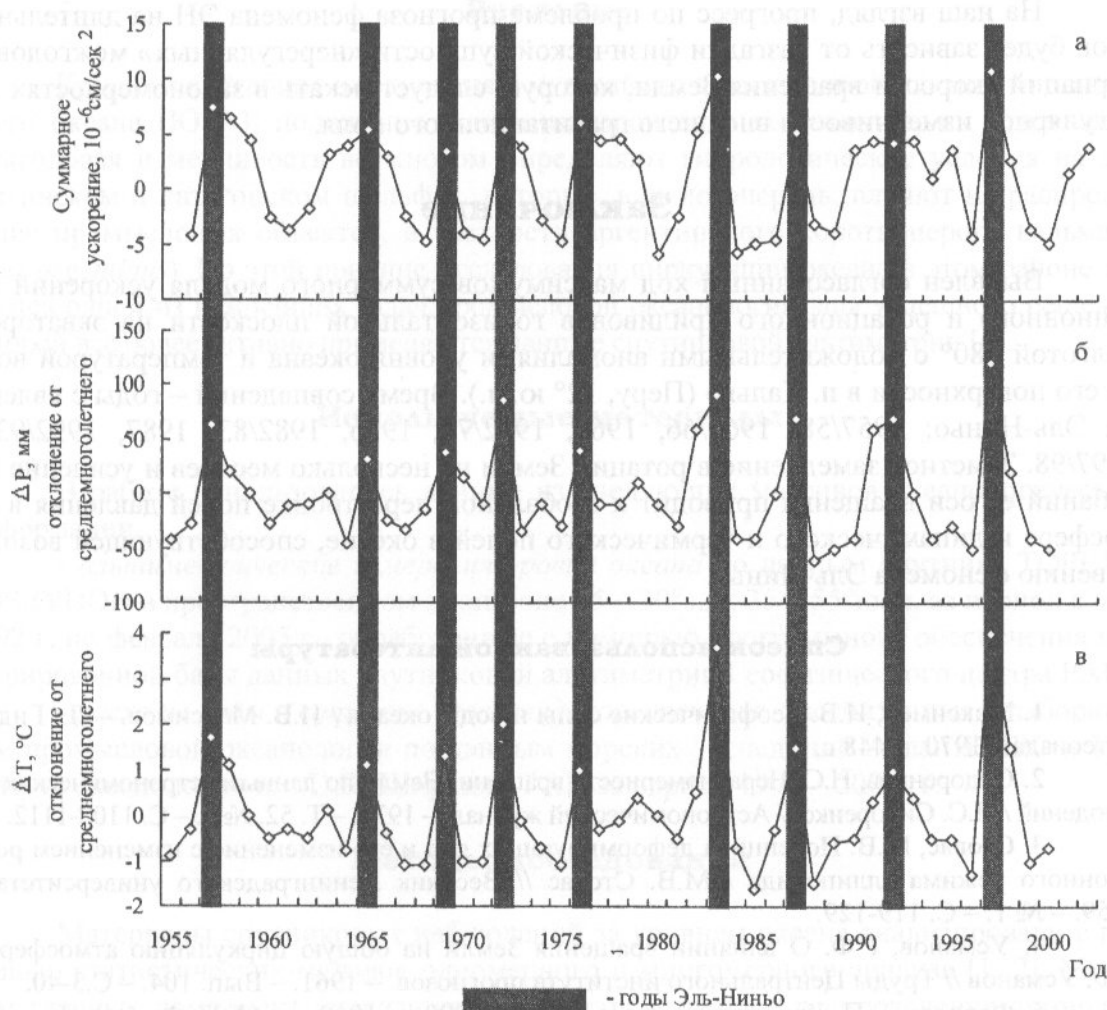


Рис. 2. Согласованный ход суммарного модуля (F_{nr}) ускорений горизонтальных компонент нутационного и ротационного приливов на экваторе (а) с колебаниями уровня (б) и аномалиями температуры воды на поверхности (в) в п. Кальяо (Перу, 12°ю.ш.)

Fig. 2. Coordinated variations in the acceleration total module (F_{nr}) of the horizontal components of the nutation and rotation tides on the equator (a) with level variations (б) and surface water temperature anomalies (в) in Calliao (Peru, 12°S)

Рис. 2 демонстрирует согласованный ход максимумов суммарного модуля ускорений нутационного и ротационного приливов (F_{nr}) с максимумами колебаний уровня и температуры воды на поверхности океана в п. Кальяо. Такое совпадение имеет место у всех 9 событий ЭН, наблюдавшихся за 45 лет с 1955 по 2002 г.: 1957/58, 1965/66, 1969, 1972/73, 1976, 1982/83, 1987, 1992/93 и 1997/98 гг. Причем, наиболее высоким положительным значениям суммарного модуля ускорений горизонтальных компо-

нент нутационного и ротационного приливов на экваторе соответствуют наиболее интенсивные явления ЭН в 1982/83 и 1997/98 гг. Кривая F_{nr} на рис. 2 показывает невысокий положительный максимум в 2002 г. Морон О. [8] сообщает, что в начале 2002 г. в районе Перу наблюдалось непродолжительное (4 мес.) средней интенсивности ЭН. Как видно из рис. 1, в 2002 г. по сравнению с 2000 г. увеличились значения ускорений как F_n , так и F_r , т.е. произошел рост интенсивности колебаний оси вращения Земли и замедление ее ротации.

На наш взгляд, прогресс по проблеме прогноза феномена ЭН на длительный срок будет зависеть от разгадки физической сущности «нерегулярных» межгодовых вариаций скорости вращения Земли, которую следует искать в закономерностях нерегулярной изменчивости внешнего гравитационного поля.

Заключение

Выявлен согласованный ход максимумов суммарного модуля ускорений нутационного и ротационного приливов в горизонтальной плоскости на экваторе с долготой 180° с положительными аномалиями уровня океана и температурой воды на его поверхности в п. Кальяо (Перу, 12° ю.ш.). Время совпадений – годы с явлением Эль-Ниньо: 1957/58, 1965/66, 1969, 1972/73, 1976, 1982/83, 1987, 1992/93 и 1997/98. Заметное замедление в ротации Земли на несколько месяцев и усиление колебаний ее оси вращения приводит к глобальной перестройке полей давления в атмосфере и динамического и термического полей в океане, способствующей возникновению феномена Эль-Ниньо.

Список использованной литературы

1. Максимов, И.В. Геофизические силы и воды океана / И.В. Максимов. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 448 с.
2. Сидоренков, Н.С. Неравномерность вращения Земли по данным астрономических наблюдений / Н.С. Сидоренко // *Астрономический журнал*. – 1975. – Т. 52, № 5. – С. 1108-1112.
3. Стовас, М.В. Потенциал деформирующих сил и его изменение с изменением ротационного режима эллипсоида / М.В. Стовас // *Вестник Ленинградского университета*. – 1959. – № 1. – С. 119-129.
4. Усманов, Р.Ф. О влиянии вращения Земли на общую циркуляцию атмосферы / Р.Ф. Усманов // *Труды Центрального института прогнозов*. – 1961. – Вып. 104. – С.3-40.
5. Федоров, Е.П. Движение полюса Земли с 1890 по 1969 год / Е.П. Федоров [и др.]. – Киев: Наукова Думка, 1972. – С. 67-81.
6. *Climate diagnostic bulletin. Near real-time analyses ocean/atmosphere*. U.S. Department of commerce. NOAA, National weather service, National meteorological center.
7. Juan Quispe Arce. Sea level variations in Callao (12° s) – Peru 1942 – 2001 // *Investigaciones Marinas*. – 2002. – Vol. 30, № 1. – P. 101-102.
8. Octavio Moron A. Comparative analysis of warm events in the series 1970-2002 off the coast of Peru // *Investigaciones Marinas*. – 2002. – Vol. 30, № 1. – P. 98-99.
9. The International earth rotation and Reference System Service (IERS): <http://hpiers.obspm.fr/eoppc/eop/eopc04/>.
10. The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change // Edited by D. Pauly and I. Tsukayama. Instituto del mar del Peru (IMARPE), Callao, Peru. – 1987. – P. 1-13.