

О ВОЗМОЖНОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ И ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В ПОСЛЕДНИЕ 150 ЛЕТ

Зотов Л.В.^{1,2}, Бизуар К.³, Шум С.К.⁴

¹Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ, Москва, Россия

²Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ, Москва, Россия

³Парижская обсерватория, SYRTE Париж, Франция

⁴Школа наук о Земле, Университет штата Огайо, Колумбус, США

С использованием многоканального сингулярного спектрального анализа (МССА) выполнено разложение климатических временных рядов (температуры и уровня моря) на главные компоненты (ГК) и их сравнение с параметрами ориентации Земли (ПОЗ). Тренды глобального потепления были предварительно исключены. Выявлены схожие 60- и 20-летние периодические составляющие в изменении глобальной температуры на Земле (HadCRUT4) и глобального уровня моря (GMSL). Для моделирования задержки отклика уровня океана на изменения приповерхностной температуры предложено использовать дифференциальное уравнение. Изменения продолжительности суток (LOD) и амплитуды Чандлеровского движения полюса за последние 150 лет были сопоставлены с климатическими рядами. Скорость вращения Земли хорошо согласуется с 60-летними изменениями глобальной температуры, а огибающая Чандлеровского колебания – с уровнем моря. Представляя эти результаты, мы задаемся вопросом – могут ли эти процессы быть взаимосвязаны?

Ключевые слова: Вращение Земли; изменения климата; МССА; атлантическое мультидекадное колебание

1. Введение

В последние десятилетия Межправительственной группой экспертов по изменениям климата (МГЭИК) опубликованы отчеты по климату [9]. В них содержится большой объем сведений об изменениях температуры на Земле и уровня моря, о таянии ледников, увеличении концентрации парниковых газов и др. Тренды глобального потепления, проявляющиеся в этих данных (рис. 1), привлекают внимание широкой общественности. Важнейшей задачей МГЭИК является прогнозирование изменений на будущее с использованием глобальных моделей динамики атмосферы и океана. Несмотря на учет большого числа факторов в таких моделях, они плохо воспроизводят так называемые “естественные вариации”, среди которых квази 60-летние и 20-летние колебания температуры (до 0.3°C) и уровня моря (до 30 мм), наблюдающиеся в последние 150 лет. Эти колебания хорошо выделяются [1,15-18,20,32-33] из рядов средней глобальной температуры (HadCRUT4), уровня моря (GMSL) [6,10], приповерхностной температуры океана (HadSST) и показаны на рис. 2 после снятия трендов потепления. Причины этих вариаций малопонятны. Так, о 60-летних вариациях говорят как об атлантическом мультидекадном колебании (АМК), затрагивающем северную Атлантику и влияющем на Арктику и северные континенты [1]. Квази 20-летние вариации характерны для некоторых районов Индийского и Тихого океанов [17]. Для их объяснения привлекают естественные моды колебаний атмосферы и океана, такие как Эль-Ниньо южное колебание (ЭНЮК, квазипериодичность 2-8 лет), вулканическую деятельность и другие факторы. Вместе с тем, мы предлагаем обратить внимание на сходство этих колебаний с вариациями параметров вращения Земли [22-24].

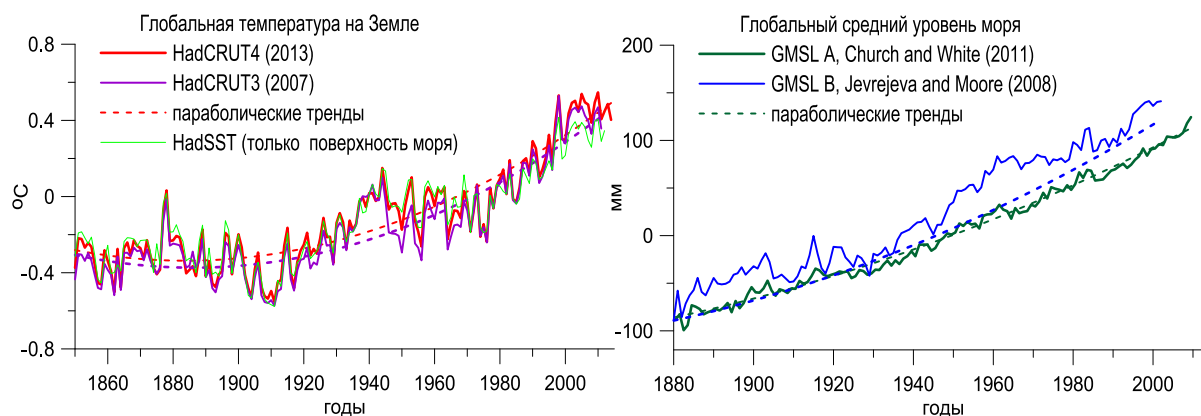


Рис. 1. Данные по средней глобальной температуре (HadCRUT3, 4) (слева) и уровню моря (справа) GMSL в реконструкциях А [6] и В [10].

2. Используемые данные и методы обработки

Для анализа временных рядов нами использован метод многоканального сингулярного спектрального анализа (МССА), позволяющий выделять периодические компоненты с меняющимися амплитудами, тренд, шумы и т.п. Эта методика является обобщением метода эмпирических ортогональных функций (EOF) для многомерных временных рядов. Она подробно описана в работах [5,11,12] и применялась нами в более ранних работах [24-26], к которым мы и отсылаем читателей, интересующихся деталями метода. Скажем здесь лишь, что метод основан на сингулярном разложении (SVD) блочной траекторной матрицы, получаемой вложением временного ряда в линейное пространство размерности L . Параметр лага L является основным параметром метода и подбирается на основе эвристических принципов, изложенных в [12]. Главные компоненты (ГК) многомерного временного ряда реконструируются из сингулярных чисел и соответствующих собственных векторов и представляют основные моды его изменчивости. МССА позволяет выделить коррелированное поведение в компонентах ряда.

В качестве исходных данных мы использовали ряд глобальной температуры с 1850 г. (суша+океан) HadCRUT4, полученный в центре Hadley в Великобритании (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>). Этот ряд является уточненной версией ранее использовавшегося HadCRUT3, и, в основном, определяется температурой над океаном (HadSST, рис. 1). Для уровня моря (SL) мы воспользовались реконструкцией, сделанной в австралийском центре CSIRO (Church & White [6]) с месячным шагом с 1880 по 2009 г и условно названной нами GMSL A, и реконструкцией GMSL B (Jevrejeva et al. [10]) на интервале 1880-2002 с шагом год. Данные более высокого разрешения были сглажены и приведены к годовому шагу. Тренды каждого из рядов моделировались полиномом второго порядка, их параметры подбирались методом наименьших квадратов (МНК) (рис. 1) и вычитались перед применением МССА. Эти тренды, связанные с антропогенным глобальным потеплением, наиболее важны для прогноза климата, выполняемого МГЭИК, но в нашей работе они не исследуются. Нас интересуют остаточные колебания. Модель тренда оказывает незначительное влияние их вид.

Вначале методом МССА мы совместно проанализировали данные по температуре HadCRUT4 и уровню моря GMSL A, считая каждый ряд отдельной компонентой двумерного временного ряда. Затем совместный анализ был выполнен для HadCRUT4 и GMSL B. Параметр L был выбран равным 22 года. В обоих случаях отчетливо разделились квази 60-летняя и 20-летняя компоненты, показанные на рис. 2. Оба колебания присутствуют как в температуре, так и в уровне моря. Анализ, в котором использована

реконструкция GMSL B демонстрирует большую амплитуду колебаний, чем GMSL A. Было также выявлено 10-летнее колебание малой амплитуды ($T \sim 0.03^\circ\text{C}$, $SL \sim 3$ мм). Поскольку оно находится на уровне шумов Здесь мы его не приводим [23-24].

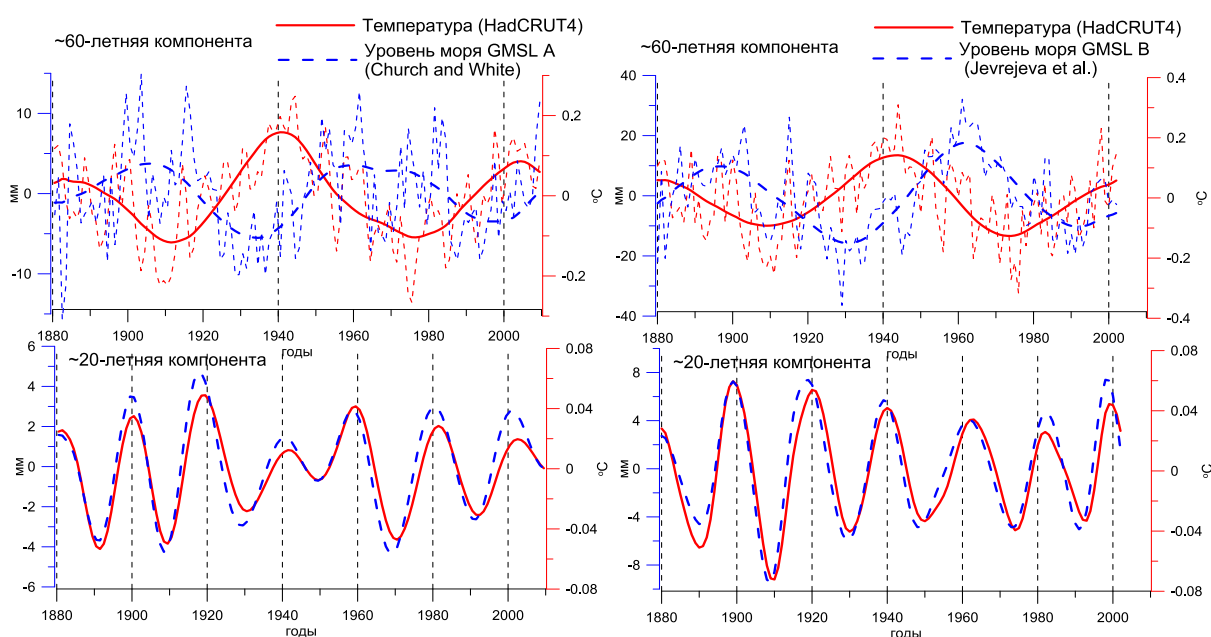


Рис. 2. 60-летние ГК 1 (вверху) и 20-летние ГК 2 (внизу) колебания глобальной температуры на Земле (красным непрерывным) и уровня моря (синим штрихованным), выделенные совместным МССА данных HadCRUT4 и GMSL A (слева) и HadCRUT4 и GMSL B (справа).

Результаты, полученные МССА, подтверждены нелинейным МНК. Период, амплитуда и фаза гармоник подбирались независимо для рядов HadCRUT4, GMSL A и GMSL B и представлены в Таблице 1.

Таблица. 1 Параметры квази 60- и 20-летних колебаний в глобальной температуре на Земле HadCRUT4 (слева) и уровне моря в реконструкциях GMSL A (в центре) и GMSL B (справа).

	HadCRUT4		GMSL A		GMSL B	
Период, лет	65	21.3	55.3	20.6	60.7	21.1
амплитуда	0.1°C	0.043°C	4.1 мм	2.1 мм	12.4 мм	5.3 мм
фаза на 1880 г	-16°	-55°	170°	-43°	117°	-67°

Мы воспользовались индексом Северо-Атлантического колебания NAO, который воспроизводит сглаженную разность давлений в Азорском максимуме и Исландском минимуме. Данные взяты с сайта, рекомендованного в работе [16] и проинтегрированы (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-rs-based>). На рис 3 показана интегральная кривая, хорошо согласующаяся с АМК.

Параметры ориентации Земли ПОЗ брались из бюллетеня службы вращения Земли IERS C01 (<http://http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>) с 1846 г для движения полюса и с 1962 г для продолжительности суток LOD. Долговременная реконструкция LOD с 1832 г, представленная на Рис. 6, получена в лаборатории реактивного движения NASA JPL на основе комбинированных рядов наблюдений Луны LUNAR97 Р. Гроссом [8].

3. Сравнение климатических характеристик и вращения Земли

Из рисунка 2 хорошо видно, что выделенные МССА 60- и 20-летние колебания прослеживаются как в данных по температуре, так и по изменению уровня моря. Однако 60-летняя компонента уровня моря (ГК 1) задерживается относительно температуры примерно на 20-30 лет. В работе [16] предложена связь между уровнем моря (SL) и глобальной температурой (T) в виде

$$\frac{dSL(t)}{dt} = a(T(t) - T_0), \quad (1)$$

где $SL(t)$ – уровень моря, $T(t)$ – глобальная температура на Земле, T_0 – начальное значение, a – коэффициент пропорциональности. Такое уравнение соответствует фильтру нижних частот. Океан, имеющий теплоемкость на три порядка большую, чем атмосфера, должен откликаться с задержкой на изменения температуры воздуха. Однако отклик на 20-летнюю компоненту температуры при этом должен быть сильно подавлен и сдвинут по фазе, чего не наблюдается (ГК 2 в температуре и уровне моря практически синфазно). Уравнение (1) можно усложнить, введя обратную связь (см. уравнение (2)). Метод МССА, на наш взгляд, может быть полезным для решения задач детектирования входа и выхода динамической системы и ее идентификации, поскольку главные компоненты часто имеют узкий спектральный диапазон и близки к собственным колебаниям системы. Однако на продолжительных интервалах времени уровень моря может являться не производной приповерхностной температуры, а наоборот, являться причиной ее изменений. Океан может управлять климатом на десятилетних и вековых интервалах. В работе [16] показано, что уровень Атлантики поднимается во время спада положительной фазы АМК. В ответ на NAO океан меняет циркуляцию, интегрирует эффект NAO, что приводит к АМК. Это подтверждается из рис. 1 где АМК соответствует 60-летнее изменение температуры (ГК 1) и рис. 3, где представлен проинтегрированный индекс NAO. По всей видимости, атмосфера контролирует быстрые климатические осцилляции, а океан – долгопериодические.

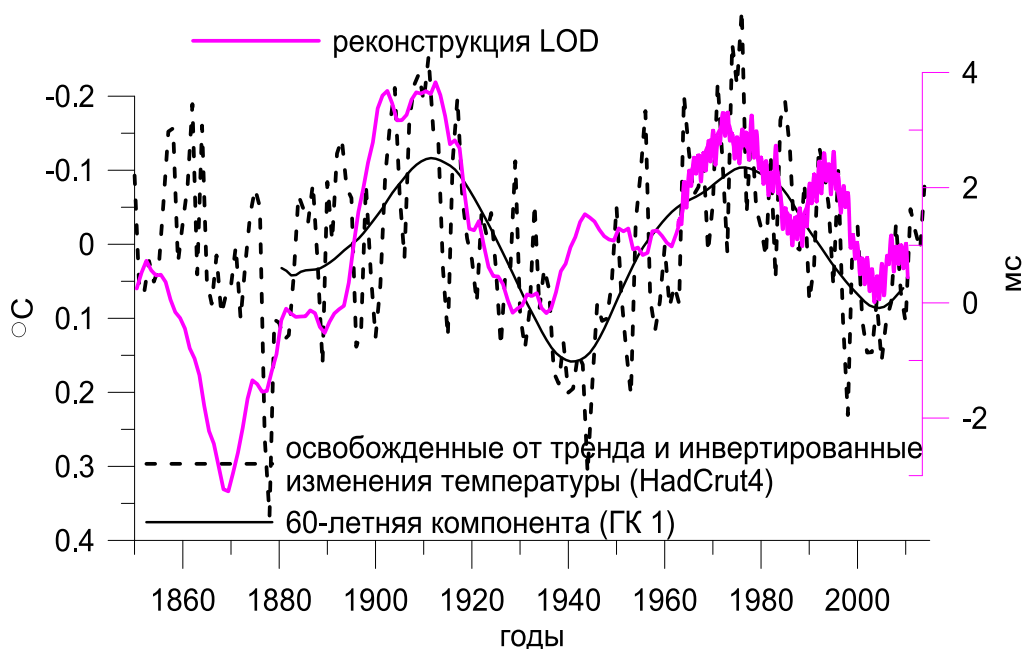


Рис. 3. Долговременные изменения LOD и вариации в глобальной температуре (без тренда, инвертированные).

На рис. 3 представлены долговременные (с 1846 г) изменения длительности суток LOD, полученные из наблюдений затмений и покрытий звезд Луной. Они сопоставлены с изменениями температуры на Земле после вычитания тренда и инвертирования.

Сходство декадной изменчивости температуры и скорости вращения планеты отмечено еще К. Ламбеком в его монографии [19], но так и не получило объяснения. Особенно четко прослеживается квази 60-летняя волна (ГК-1).

На рис. 4 показаны данные по изменениям LOD с 1962 года, полученные на основе сравнения вращения Земли с атомной шкалой времени UTC. Эффекты зональных приливов исключены согласно [28]. Высокочастотная (менее года) изменчивость практически полностью объясняется обменом моментом импульса с атмосферой (сравнение кривых ААМ внизу) [37]. Считается, что долгопериодические (декадные) изменения LOD связаны с обменом угловым моментом между ядром и мантией в недрах земли. Найдены корреляции с геомагнитным полем [7]. Океанические процессы, как считается, вносят меньший вклад. Однако тренд LOD также связан с диссипацией приливов в океане.

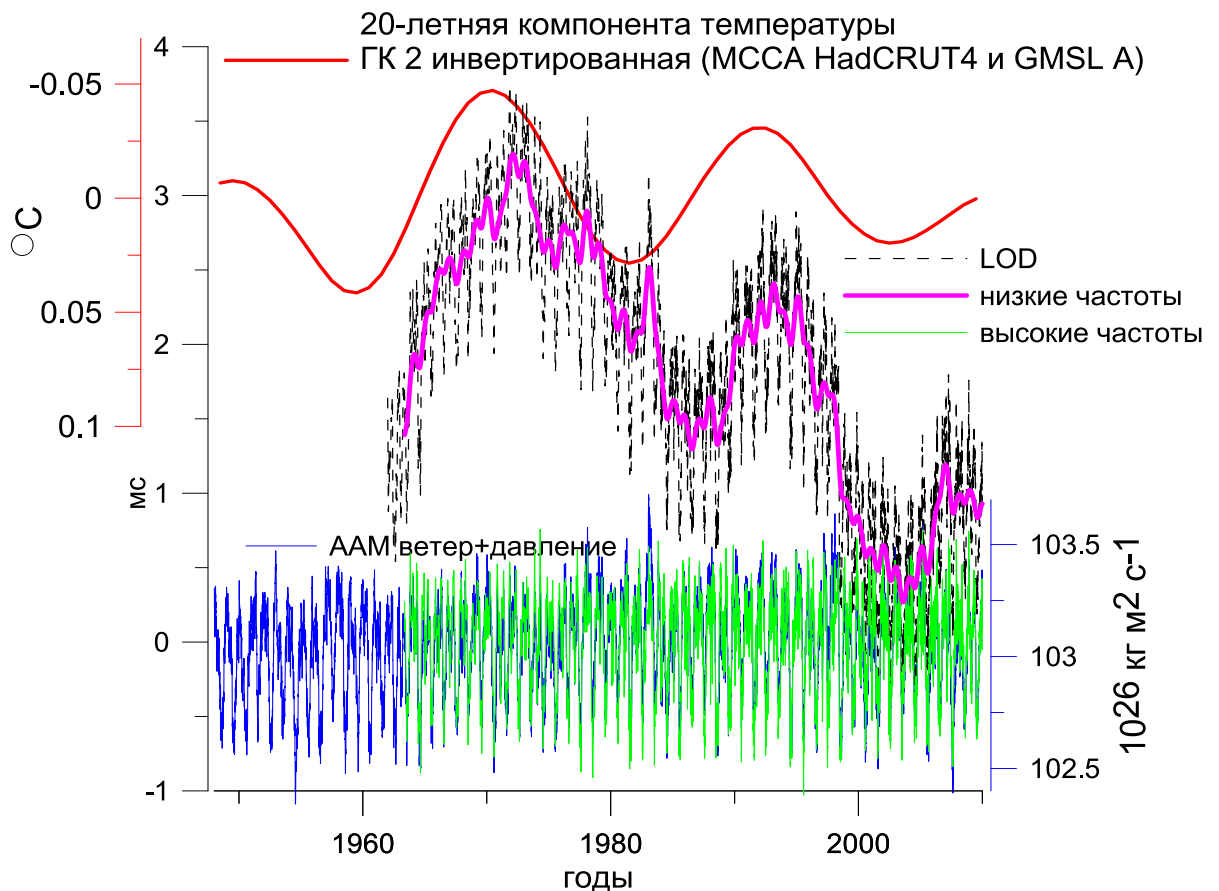


Рис. 4. LOD с 1962 года сопоставленная с 20-летней компонентой изменения температуры ГК 2 (инвертированной). Высокочастотная изменчивость, в основном, вызвана угловым моментом атмосферы ААМ (масса+движение) (внизу).

Нами было замечено [27] что декадные вариации LOD с 1962 г. также антикоррелированы с 20-летней компонентой (ГК 2) изменений температуры на Земле. Если бы угловой момент океана (ОАМ) или атмосферы (ААМ) демонстрировал такую же изменчивость, это можно было бы объяснить влиянием изменений в их циркуляции. Однако данные по угловому моменту имеют слишком малые тренды [7] (см. дискуссию). Возможно, внешние факторы (прецессия лунной орбиты) или процессы внутри Земли (на границе ядро-мантия), связанные с магнитным полем, приводят к появлению сходных откликов в LOD и температуре на Земле [2,13,37].

Мы также исследовали изменения амплитуды Чандлеровского колебания, которая была исключительно малой в 1930-е годы и стремительно уменьшилась сейчас, в 2010-е (рис. 5 слева) [29,30]. Сравнение его огибающей с климатическими характеристиками показывает, что корреляция с 60-летней компонентой уровня моря составляет $r=0.72\pm 0.08$ (рис. 6 справа). Возбуждение Чандлеровского колебания, вычисленное по методике корректирующей фильтрации Пантелеева [25], представлено на рис. 5 справа.

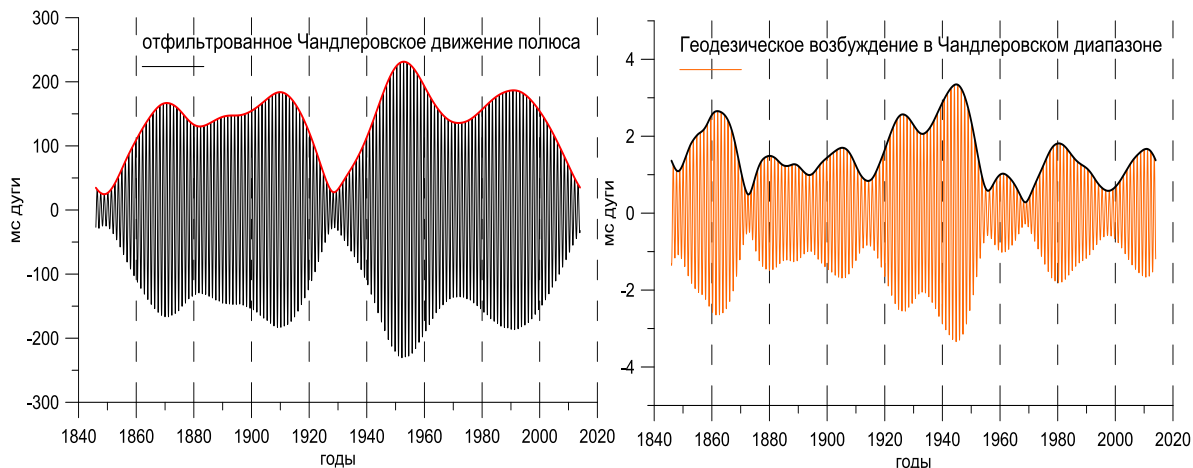


Рис. 5. Отфильтрованное Чандлеровское колебание m (слева) и его входное возбуждение Ψ (справа). Выделена огибающая 433-суточной несущей.

Возбуждающей функцией называется воздействие $\Psi(t)$, поступающее на вход динамической системы вращения Земли, описываемой комплексным ($i = \sqrt{-1}$) дифференциальным уравнением

$$\frac{i}{\sigma_c} \frac{dm(t)}{dt} + m(t) = \Psi(t), \quad (2)$$

выходом которого $m(t)$ является траектория движения полюса, а параметр $\sigma_c = 2\pi f_c (1 + i/2Q)$ определяется добротностью Q (взята равной 100) и Чандлеровской резонансной частотой f_c (взята равной $1/433 \text{ сут}^{-1}$ [25]). Таким образом, $\Psi(t)$ в основном определяется производной $m(t)$, (сравни с зависимостью (1)). Справа на рис. 6 показана огибающая Чандлеровского движения полюса и ГК-1 изменения уровня моря. Корреляция между ними $r=0.72\pm 0.08$. На рис. 6 слева показаны сглаженная скорость вращения Земли (отфильтрованная и инвертированная LOD) и 60-летняя компонента (ГК-1) изменения температуры на Земле. Корреляция между ними составляет $r=0.92\pm 0.03$. Там же представлен график проинтегрированного индекса NAO. Сходство приводит нас к заключению о том, что изменения во вращении Земли (LOD и Чандлеровское колебание) могут быть взаимосвязаны с естественными колебаниями климатических характеристик (температуры и уровня моря).

Заметим также, что Чандлеровское возбуждение (Рис. 5 справа) имеет квази 20-летнюю изменчивость, которая в работе [25] была сопоставлена с 18.6-летней модуляцией приливов, вызываемой прецессией орбиты Луны.

4. Заключение и дискуссия

В представленной работе методом МССА исследованы глобальные климатические индексы, такие как глобальная температура и уровень моря. Наше внимание сосредоточено не на трендах глобального потепления, являющихся основным интересом МГЭИК, а на многолетних естественных колебаниях. Эти колебания могут быть причиной наблюдаемой в последнее десятилетие паузы в глобальном потеплении Hiatus

[20] Выявлено одновременное присутствие в данных по температуре и уровню моря квази 60- и 20-летних компонент. Связанная с АМК 60-летняя компонента температуры сдвинута по фазе относительно изменений уровня моря на 20-30 лет. Мы склонны считать это скорее следствием отклика температуры (АМК) на проинтегрированное циркуляцией океана NAO [16], нежели задержкой отклика уровня моря на изменения температуры согласно дифференциальному уравнению (1).

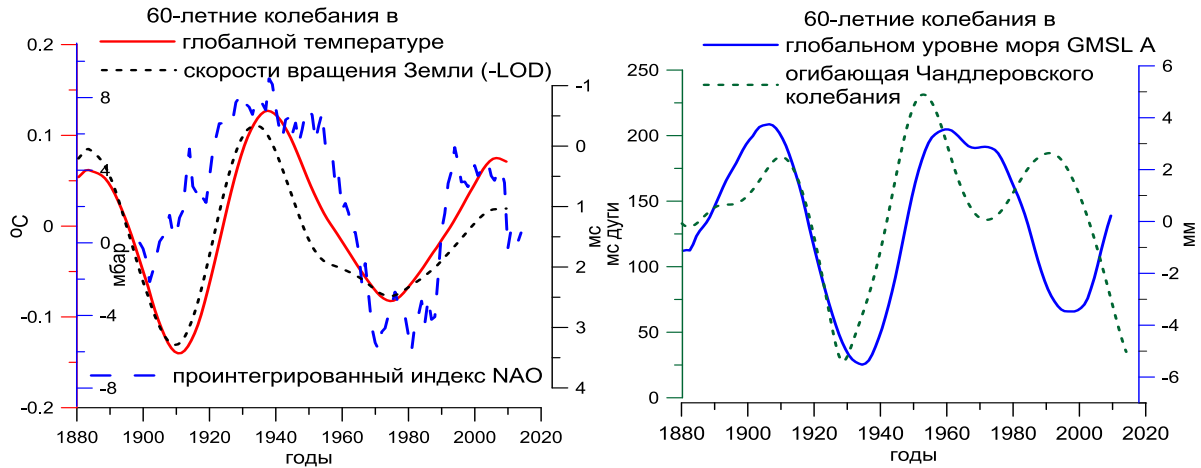


Рис. 3. Слева: Медленные вариации скорости вращения Земли (отфильтрованная и инвертированная LOD), проинтегрированный индекс NAO и 60-летняя компонента (ГК 1) изменения температуры на Земле. Справа: огибающая Чандлеровского движения полюса и ГК 1 изменения уровня моря GMSL A.

Сопоставление данных по вращению Земли с климатическими характеристиками позволило установить сходство изменений скорости вращения Земли с квази 60-летним колебанием температуры, а амплитуды Чандлеровского колебания (огибающей) – с вариациями уровня моря (рис. 6).

Изменения в продолжительности суток и положении оси вращения Земли имеют чрезвычайно важное значение для геодезии, астрометрии, навигации. Отклонения полюса, достигающие 5-8 метров, необходимо знать вместе с продолжительностью суток для установления связи земной ITRS и небесной GCRS систем координат. Прогнозирование этих вариаций осложнено тем, что они являются сводным откликом на процессы, происходящие в океане, атмосфере и твердой Земле. Как известно, они носят комплексный, зачастую нестационарный характер, и недостаток наблюдательных данных по ним стал восполняться лишь в последние десятилетия с появлением сетей наземных станций и спутниковых методов наблюдений. Отметим, что особенности вращения Земли до последнего времени больше интересовали геодезистов, чем геофизиков.

Климатологов они интересовали лишь в связи с тем, что согласно теории Миланковича, глобальные оледенения на Земле связаны с астрономическими факторами: вариациями параметров орбиты, изменением наклона оси вращения Земли и ее прецессией. В данной работе мы рассматривали LOD и движение полюса (геофизические эффекты с периодами вне интервала [-1.5, -0.5] циклов в сутки в ITRS) на интервале 160 лет и не касались вынужденной лунно-солнечной прецессии и нутации (астрономические эффекты с периодом более двух суток в GCRS). Однако их наблюдаемое сходство с климатическими факторами делает исследование вращения Земли важным для геофизики в целом. Мы склонны считать, что отмеченные на рис. 2-6 сходства имеют под собой физическое основание.

Почему же до сих пор считается, что изменчивость ПОЗ и температуры на Земле слишком мала, чтобы между ними было взаимное влияние [7], а механизм этого влия-

ния не выяснен? В работах специалистов по циркуляции атмосферы и океана [3,13,14,21,34-36] уже не раз высказывались предположения о том, что Чандлеровское колебание, квазидвухлетнее атмосферное колебание, ЭНЮК, NAO и АМК взаимосвязаны. Эти глобальные климатические моды затрагивают глубинные слои океана, атмосферу и находят отражение в вариациях глобальной температуры на Земле. Однако современные климатические модели все еще с трудом воспроизводят их. Предсказание ЭНЮК затруднительно из-за его нелинейности, MAO воспроизводится разными моделями по-разному [32,33]. Следовательно, в угловых моментах океана (ОАМ), получаемых из этих моделей, могут быть погрешности на шкалах в десятилетия. Недостаточно точное представление об изменчивости течений в глубинах океана на шкалах в 20-60 лет может приводить к недостаточно точной оценке влияния океана на климат и вращение Земли.

Возможно, существуют внешние факторы, накладывающие сходные отпечатки на оба эти явления. Так, изменение коэффициента динамического сжатия Земли J_2 под действием прилива в цикле 18.6-летней прецессии орбиты Луны может сказываться на частоте f_c Чандлеровского колебания и вызывать модуляции его амплитуды [31]. Однако предварительные оценки говорят о малости подобных эффектов.

Дальнейшее прояснение механизма взаимосвязи между LOD, температурой, уровнем моря и амплитудой Чандлеровского колебания потребует накопления более полных наблюдательных данных о глобальных процессах в океане, атмосфере и недрах Земли. Этому может поспособствовать увеличение продолжительности наблюдений на гравиметрических спутниках GRACE и GRACE Follow On [26], буйках системы Арго, расширение сети метеонаблюдений. Однако уже сейчас, на наш взгляд, можно говорить об информационной связи климатическими процессами и вращением Земли. Наличие в них взаимной информации друг относительно друга может быть использовано для улучшения точности их прогнозирования.

Благодарности: работа поддержана грантами РФФИ 16-05-00753, 16-55-150006 и НИУ ВШЭ. Третий автор поддержан грантами NSF/IGFA No. ICER-1342644, и грантом Китайской академии наук No. KZZD-EW-TZ-05.

Литература

1. Andronova, N. G., Schlesinger, M. E., Causes of global temperature changes during the 19th and 20th centuries. *Geophys. Res. Lett.*, 27, pp. 21372140. Bibcode: 2000GeoRL..27.2137A. doi:10.1029/2000GL006109 (2000)
2. Avsyuk Yu. N., Tidal forces and natural processes, Shmidt IPE RAs, Moscow (1996)
3. Bizouard C., L. Zotov, and N. Sidorenkov, Lunar influence on Equatorial Atmospheric Angular Momentum, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, DOI:10.1002/2014JD022240 (2014)
4. Bizouard C., *Le mouvement du pole de l'heure au siecle*, Presses Academiques (2014)
5. Ghil M., R.M. Allen, M.D. Dettinger et al., *Advanced spectral methods for climatic time series*, 40(1), 3.1-3.41 (2002)
6. Church, J. A., N. J. White, L. F. Konikow, C. M. Domingues, J. G. Cogley, E. Rignot, J. M. Gregory, M. R. van den Broeke, A. J. Monaghan, and I. Velicogna, Revisiting the Earth's sea-level and energy budgets from 1961 to 2008, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L18601, doi:10.1029/2011GL048794, (2011)
7. Jean O. Dickey, Steven L. Marcus, and Olivier de Viron: Air Temperature and Anthropogenic Forcing: Insights from the Solid Earth. *J. Climate*, 24, 569574 (2011)
8. Richard S. Gross, A combined length-of-day series spanning 18321997: LUNAR97, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Volume 123, Issue 1, pp. 65-76 (2001)
9. IPCC fifth assessment report: Climate Change 2013: The Physical Science Basis,

- <http://www.climatechange2013.org/> (2013)
10. Jevrejeva, S., J. C. Moore, A. Grinsted, and P. L. Woodworth, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L08715, doi:10.1029/2008GL033611 (2008)
 11. Jolliffe I.T.. *Principal Component Analysis*, Springer (2001)
 12. Golyandina N., Nekrutkin V., Zhigljavsky A., *Analysis of Time Series Structure SSA and Related Techniques*, CHAPMAN & HALL/CRC (2001)
 13. Li Guoqing, Zong Haifen, Zhang Qingyun, 27.3-day and average 13.6-day periodic oscillations in the Earth's rotation rate and atmospheric pressure fields due to celestial gravitation forcing. *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol. 28, N 1, pp. 45-58, Springer (2011)
 14. Maximov I.V. and Smirnov N.P., The changes in the speed of the Earth's rotation and the mean sea level of the Oceans, *Oceanologia*, N 4 pp. 9-18, (1964)
 15. Qian W.H., Lu Bo, Zhu C.W., How would global-mean temperature change in the 21th century? *Chinese Science Bulletin*, 55, 19. pp. 1963-1967 (2010)
 16. Rahmstorf S., A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise Science, Vol. 315 no. 5810 pp. 368-370, DOI: 10.1126/science.1135456 (2007).
 17. Schlesinger, M. E., An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. *Nature* 367 (6465): 723726. Bibcode:1994Natur.367..723S. doi:10.1038/367723a0, (1994)
 18. Shen Yunzhong, Yi Chen, Yingchen Ao: *Global Mean Sea Level Rise Analysis and Prediction by Using Singular Spectrum Analysis*, APSG-2013
 19. Lambeck K., *The Earth's Variable Rotation; Geophysical Causes and Consequences*, Cambridge University Press, (1980).
 20. D. Macias, A. Stips, E. Carcia-Gorriaz, Application of the Singular Spectrum Analysis Technique to Study the Recent Hiatus on the Global Surface Temperature Record *PLoS ONE* 9(9): e107222. doi:10.1371/journal.pone.0107222 (2014)
 21. Sidorenkov N.S., *The Interaction Between Earth's Rotation and Geophysical Processes*, Wiley-VCH Verlag (2009)
 22. L. Zotov On the similarities between Earth rotation and temperature changes. *Odessa Astronomical Publications*, N 2, p. 225 (2012)
 23. Zotov L., C. Bizouard, and N. Sidorenkov, On possible interconnections between Climate change and Earth rotation, talk at COSPAR-2014, MSU (2014)
 24. Zotov L.V. Sea Level And Global Earth Temperature Changes have common oscillations, *Odessa Astronomical Publications*, N 26/2, pp. 289-291 (2013)
 25. Zotov L., C. Bizouard. On modulations of the Chandler wobble excitation, *Journal of Geodynamics*, N 62 pp. 30-34, DOI: 10.1016/j.jog.2012.03.010 (2012)
 26. Zotov L.V., C.K. Shum, N.L. Frolova, Gravity changes over Russian rivers basins from GRACE, in *Planetary Exploration and Science: Recent Results and Advances*, Edt. By Sh. Jin, Springer (2015)
 27. L. Zotov, C. Bizouard, Regional atmospheric influence on the Chandler wobble, *Advances in Space Research*, Volume 55, Issue 5, Pages 1300-1306, (2015), doi:10.1016/j.asr.2014.12.013
 28. IERS conventions 2010, <http://62.161.69.131/iers/conv2010/conv2010.html>
 29. N.O. Miller. Chandler Wobble in Variations of the Pulkovo Latitude for 170 Years. *Solar System Research*, Vol. 45, No. 4, pp. 342-353, (2011)
 30. J. Nastula, A. Korsun, B. Kolaczek, W Kosek, W Hozakowski, Variations of the Chandler and annual wobbles of polar motion in 1846-1988 and their prediction. *Manuscripta geodaetica*, No 18 p. 131-135, (1993)
 31. Cheng, M., B. D. Tapley, and J. C. Ries Deceleration in the Earth's oblateness, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 740–747, (2013), doi:10.1002/jgrb.50058
 32. Jin Ba, Noel S. Keenlyside et al., A multi-model comparison of Atlantic multidecadal variability, *Climate Dynamics*, Vol.43, Iss. 9, pp 2333-2348, (2014)
 33. Gerard D. McCarthy, Ivan D. Haigh, Joël J.-M. Hirschi, Jeremy P. Grist & David A. Smeed, Ocean impact on decadal Atlantic climate variability revealed by sea-level observations, *Nature* 521, pp 508–510 (2015), doi:10.1038/nature14491
 34. В.И. Бышев, В.Г. Нейман, Ю.А. Романов, И.В. Серых. Глобальные атмосферные осцилляции в динамике современного климата. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Т. 11. No 1. С. 62-71 (2014)

35. В.Н. Малинин Уровень океана настоящее и будущее, СПб 2012.
36. Серых И.В., Сонечкин Д.М. О влиянии квазипериодических внешних сил на ритмичность Эль-Ниньо. В книге: Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания. Институт динамики геосфер РАН; редакторы В.В. Адушкин, Г.Г. Кочарян С. 95. Издательство: ГЕОС (Москва), (2015)
37. Н. Сидоренков, К. Бизуар, Л. Зотов, Д. Салстейн, Угловой момент атмосферы, Природа, N. 4 стр. 22-28, РАН (2014)

**About possible interrelation between Earth rotation and climate variability
over recent 150 years**

Leonid Zotov^{1,2}, Christian Bizouard³, C. K. Shum⁴

1 Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

*2 Moscow Institute of Electronics and Mathematics, National Research University
Higher School of Economics, Moscow, Russia*

3 Paris Observatory, Service de la Rotation de la Terre (SYRTE), France

4 Division of Geodetic Science, School of Earth Sciences, The Ohio State University, USA

Using Multichannel Singular Spectrum Analysis (MSSA) we decomposed climatic time series (temperature and sea level) into principal components, and compared them with Earth rotation parameters. The global warming trends were preliminarily subtracted. Similar quasi 60- and 20-years periodic patterns have been found in the Global Mean Earth Temperature (HadCRUT4) and Global Mean Sea Level (GMSL). Differential equation is proposed for modeling of the delayed ocean response to temperature changes. Length of Day (LOD) variations and amplitude of the Chandler wobble over recent 150 years were compared to climate time series. The Earth rotation velocity corresponds well to the 60-year Earth temperature changes and Chandler wobble envelope – to those of Sea Level. We present these results, asking the question: can these processes be interrelated?