

ЧТО СПУТНИКИ GRACE МОГУТ СКАЗАТЬ О ВРАЩЕНИИ ЗЕМЛИ?

Зотов Л. В.^{1,2}, К. Бизуар³, С.К. Шам⁴

¹Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики, МИЭМ, Москва, ул.Таллинская, 34, E-mail: wolftempus@gmail.com; ²ГАИШ МГУ, Москва

³Парижская обсерватория, Франция; ⁴ Университет штата Огайо, США



Абстракт: Спутники-близнецы GRACE ведут с 2003 года мониторинг гравитационного поля Земли. На основе ежемесячных коэффициентов разложения гравитационного поля Земли, предоставляемых центрами обработки, можно судить о перераспределении масс на суше и в океане, отслеживать тренды климатических изменений и др. Первые коэффициенты разложения дают информацию о перемещениях центра масс и изменениях тензора инерции Земли, которые позволяют напрямую вычислить возбуждающие функции, влияющие на скорость вращения Земли и положение полюса. Однако данные GRACE требуют фильтрации меридиональных шумов (полос-страйпов). Мы используем для этого метод Многоканального сингулярного спектрального анализа (МССА)

В работе выполнен сравнение коэффициентов геопотенциала второй степени, полученных по данным GRACE и по данными лазерной локации спутников (SLR) [1,5], с геодезическими возбуждающими функциями движения полюса и изменениями длительности суток LOD.

$$\frac{i}{\sigma_c} \frac{dm(t)}{dt} + m(t) = \chi(t) \quad \sigma_c = 2\pi f_c (1 + i/2Q)$$

Чандлеровская частота $m = m_1 + im_2$
траектория полюса $\chi = \chi_1 + i\chi_2$
возбуждения

$$\begin{Bmatrix} \chi_1(t) \\ \chi_2(t) \end{Bmatrix} = \frac{-\sqrt{5}}{\sqrt{3(1+k_2')}} \frac{1.098 a^2 M}{C-A} \begin{Bmatrix} \Delta C_{21}(t) \\ \Delta S_{21}(t) \end{Bmatrix}$$

A, C моменты инерции, a=R -радиус,
M – масса Земли,
 k_2' – нагрузочное число Лява [5, 7]

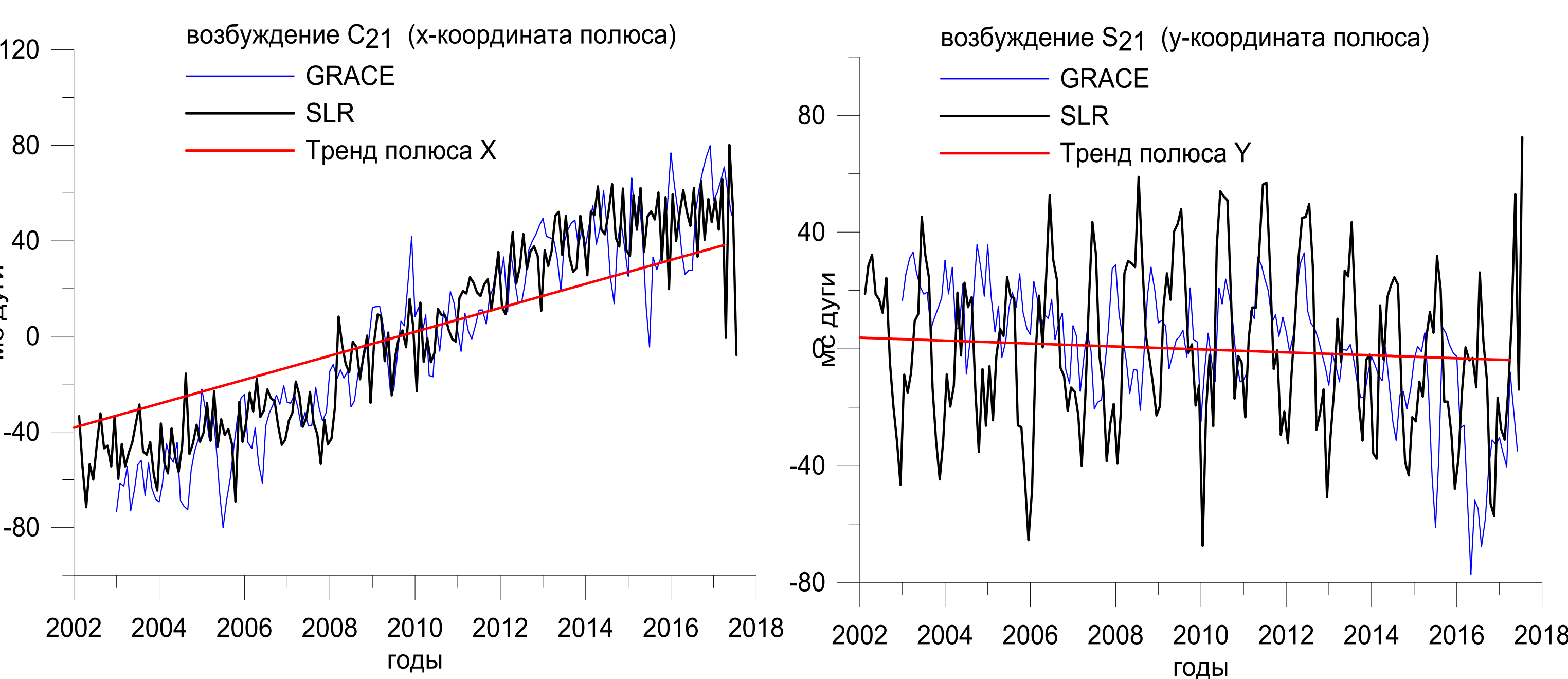


Рисунок 1. Сравнение трендов в возбуждении движения полюса с возбуждениями по данным GRACE и SLR. Среднее вычтено.

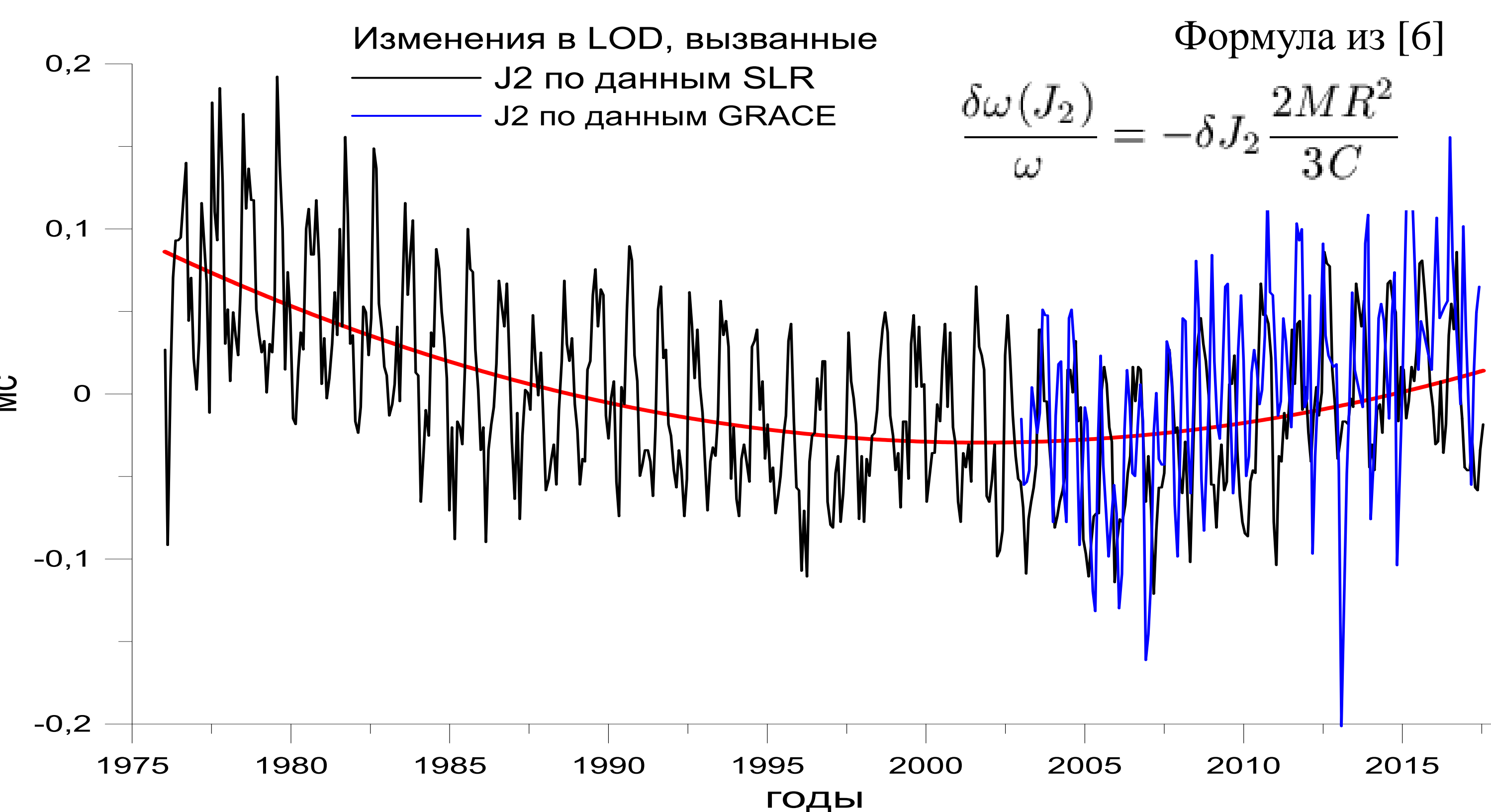


Рисунок 2. Пересчитанные во влияние на длительность суток LOD [6] ряды коэффициента J_2 по данным SLR с 1976 по 2017 г и по данным GRACE с 2003 г. Тренд сменился с убывающего на возрастающий в ~2005 г. GRACE менее чувствительны к первым коэффициентам геопотенциала.

Список литературы

- 1.Cheng, M., B. D. Tapley, and J. C. Ries (2013), Deceleration in the Earth's oblateness, J. Geophys. Res. Solid Earth, 118, 740–747
- 2.L. Zotov, Ch. Bizouard, C.K. Shum. About possible interrelation between Earth rotation and Climate variability on a decadal time-scale? Journal of Geodesy and Geodynamics, China, Volume 7, Issue 3, May 2016, Pages 216-222, 2016
- 4.Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с.
- 5.Seoane, L., Nastula, J., Bizouard, C. and Gambis, D. The use of gravimetric data from GRACE mission in the understanding of polar motion variations. Geophysical Journal International, 178: 614–622. 2009.
6. Yoder, Secular variations of J_2 ., Nature, Vol. 303, No. 5920, 1983, pp. 757-762
7. Adhikari, Ivins, Climate driven polar motion :2003-2015 Sci. Adv. 2016; 2

Работа выполнена при поддержке граната РФФИ N 16-05-00753

О методе МССА: Многоканальный сингулярный спектральный анализ (ССА) основан на методе главных компонент (МГК), обобщенном для многомерных временных рядов таким образом, что вместо обычной корреляционной матрицы анализируется многомерная блочная траекторная матрица. Ее блоки получают вложением компоненты временного ряда в пространство размерности L . Параметр L называют лагом, или длиной “гусеницы”. Алгоритм МССА включает четыре этапа [4]:

- а) формирование блочной траекторной матрицы,
- б) ее разложение по сингулярным числам (SVD),
- в) группировку сингулярных чисел,
- г) восстановление главных компонент (ГК) посредством генкелизации блоков для каждого канала.

МССА более гибок, чем МГК, позволяет разделить тренд, колебания с меняющимися амплитудами, отфильтровать шумы. Мы применяем его к ежемесячным данным GRACE с параметром $L=48$ (4 года).

Исходные данные: движение полюса по данным EOP PC. $J_2 = -\sqrt{5} C_{20}$ с 1976 г, $C_{21} S_{21}$ по данным SLR с 2002 г, ежемесячные данные GRACE второго уровня L2 релиз RL05 центра обработки JPL с 2003 г.

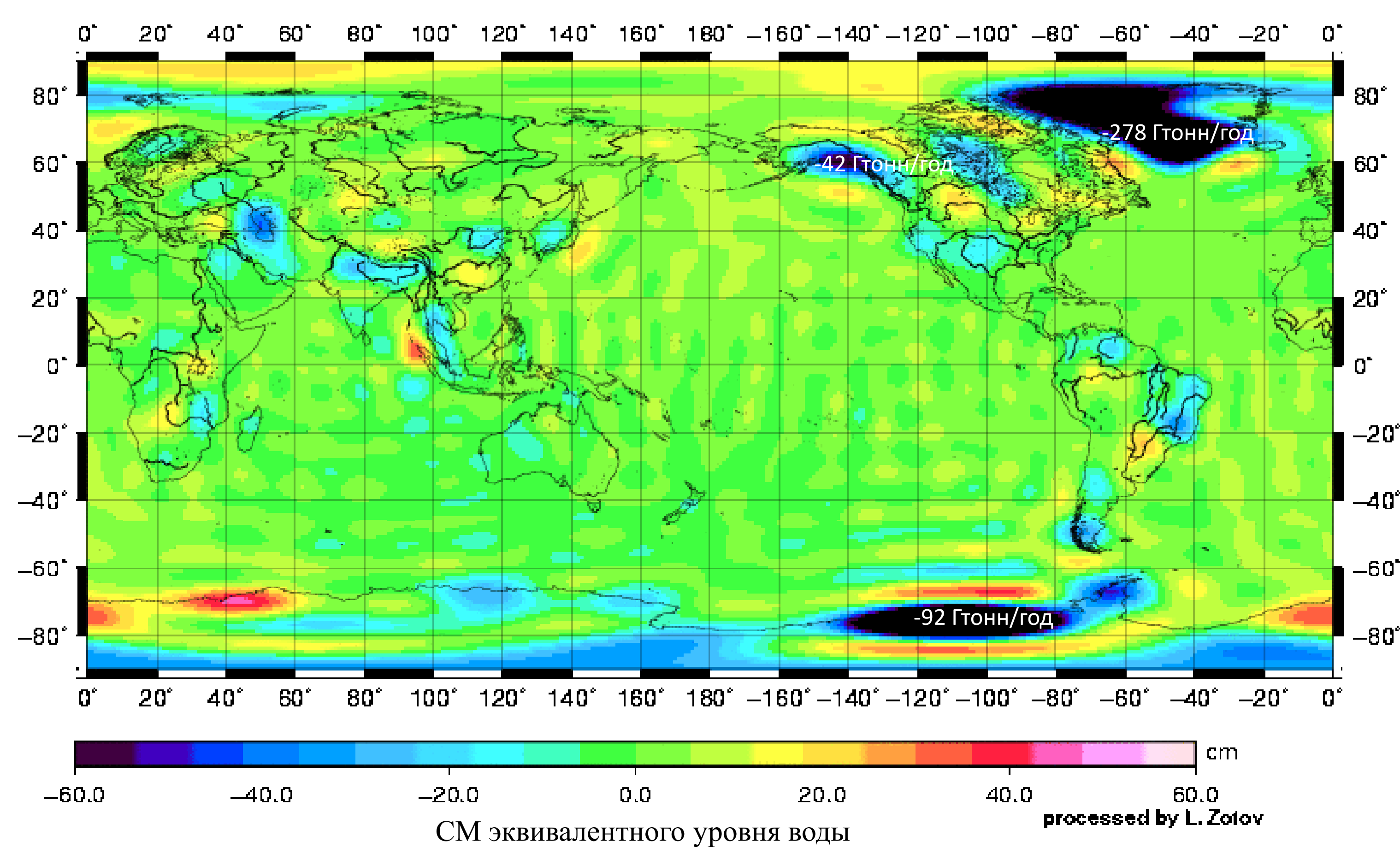


Рисунок 3. Тренд изменений гравитационного поля Земли с 2003 по 2017 гг. по наблюдениям GRACE после МССА-фильтрации.

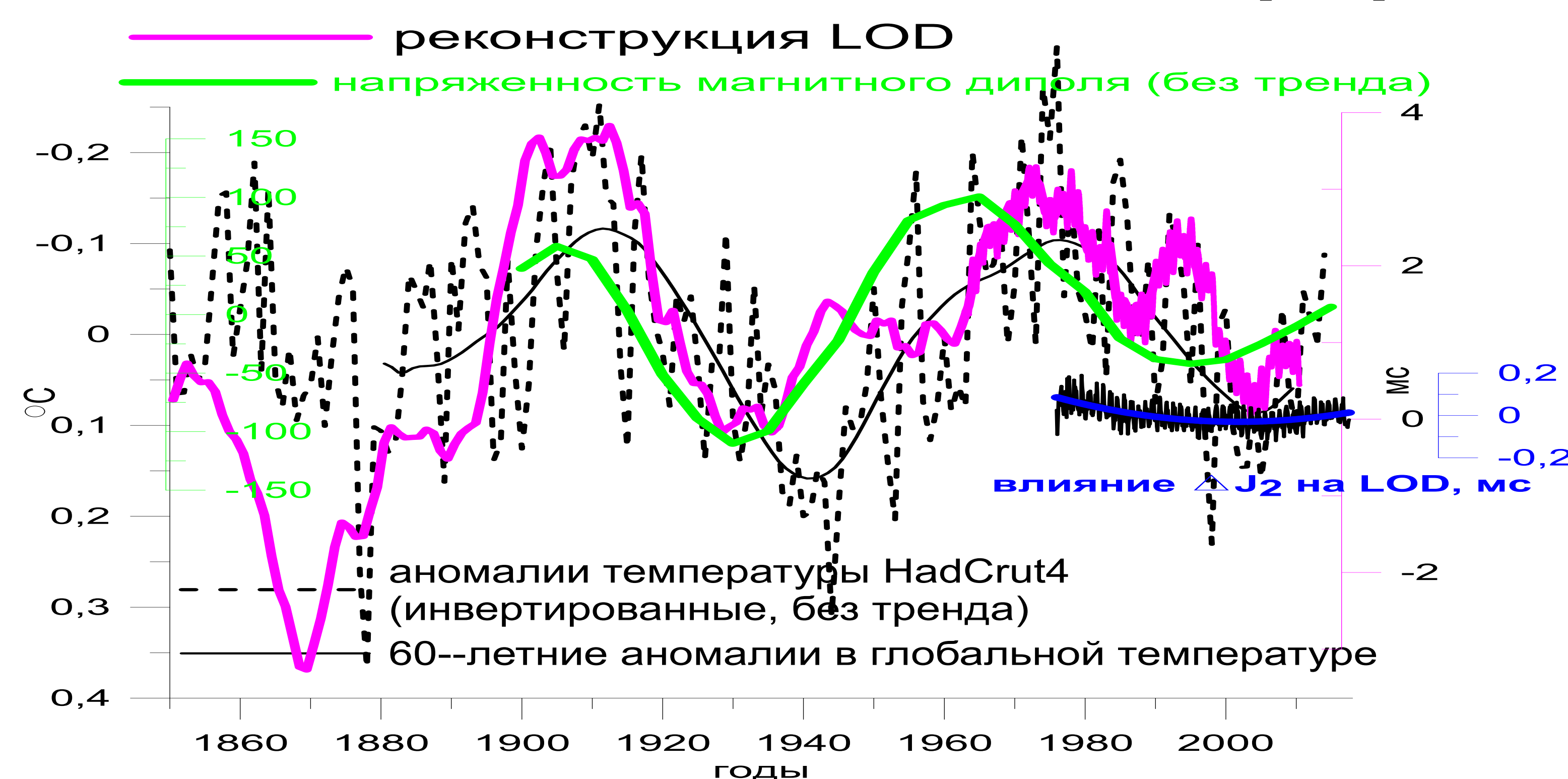


Рисунок 4. Влияние изменения динамического форм-фактора J_2 на длительность суток LOD. Долговременная реконструкция LOD антикоррелирует с 60-летними аномалиями глобальной температуры на Земле [2] и коррелирует с напряженностью магнитного диполя после вычитания тренда.

Выводы: Данные по гравитационному полю со спутников GRACE позволяют отслеживать изменения первых коэффициентов гравитационного потенциала Земли, дают непосредственную информацию об изменениях тензора инерции Земли и открывают возможность изучения влияния перераспределения масс на вращение Земли.

Декадные изменения в длительности суток LOD и тренды движения полюса коррелируют с эффективными климатическими индексами. Сравнение трендов в возбуждении полюса и в коэффициентах Стокса $C_{21} S_{21}$ указывает на то, что драйвером дрейфа полюса являются перераспределения масс под действием изменений климата. Изменения J_2 сказываются на LOD, вероятно в части смены тренда в 2005 г.