

Вариации придонного давления по данным спутников GRACE

Зотов Л. В.^{1,2}, Власова В. М.²

¹Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики, МИЭМ, Москва, ул.Таллинская, 34, E-mail: lzotov@hse.ru; ²ГАИШ МГУ, Москва

Абстракт: Спутники-близнецы GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) позволяют изучать аномалии распределения масс на основе данных по гравитационному полю Земли, получаемых ежемесячно с 2002 г. в виде коэффициентов Стокса разложения гравитационного потенциала. В настоящее время GRACE – единственная космическая миссия, дающая возможность оценить вклад нестерической компоненты в изменения уровня моря. Однако для использования данных GRACE необходима фильтрация шумов. Данные по массе океана и придонному давлению ОВР получены из наблюдения GRACE на сетке $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ по методике Чамберса и Бонини [4]. Затем к ним применен многоканальный сингулярный спектральный анализ (МССА) для фильтрации данных GRACE и разделения главных компонент (ГК, PC) с разными периодами. Это позволило получить карты долгопериодической, годовой и др. изменчивости придонного давления, выявить районы наибольших изменений.

Ключевые слова: гравитационное поле, GRACE, МССА, изменение уровня моря, масса океана, придонное давление.

О методе МССА: Многоканальный сингулярный спектральный анализ является обобщением сингулярного спектрального анализа (ССА) для многокомпонентных (многоканальных) временных рядов. ССА, в свою очередь, основан на методе главных компонент (МГК), обобщенном для временных рядов таким образом, что вместо обычной корреляционной матрицы анализируется траекторная матрица. Ее получают вложением временного ряда в пространство размерности L . Параметр L называют лагом, или длиной “гусеницы”. При $L = 1$ ССА вырождается в МГК (траекторная матрица без задержки (лага) становится ковариационной матрицей). Алгоритм ССА включает четыре этапа:

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

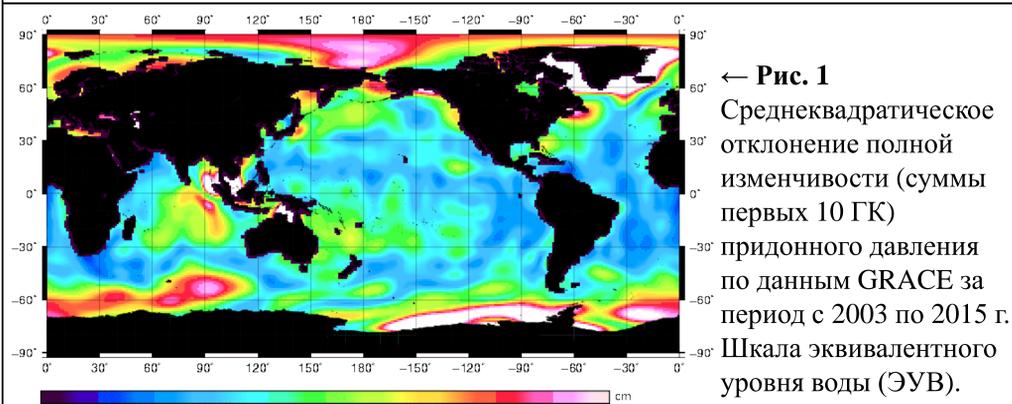
Алгоритм ССА описан детально в [1,2]. МССА содержит ту же последовательность операций, но в нем траекторные матрицы $X_{A_{ij}}$, построенные для временных рядов в каждой точке географической сетки ij , объединяются в одну большую блочную матрицу X , для которой выполняется SVD-разложение с последующим восстановлением главных компонент. Сумма всех главных компонент полностью соответствует исходному сигналу.

МССА более гибок, чем МГК (ЭОФ), позволяет разделить тренд, колебания с меняющимися амплитудами, отфильтровать шумы. Мы применили его к данным GRACE ОВР, выбрав параметр лага $L=60$ (5 лет).

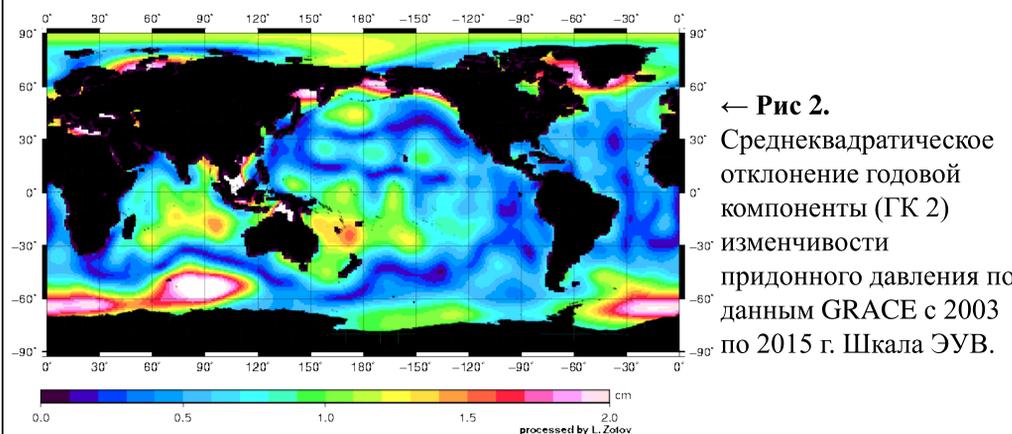
$$X_{A_{ij}} = \begin{pmatrix} A_{ij}(t_0) & A_{ij}(t_1) & \dots & A_{ij}(t_{K-1}) \\ A_{ij}(t_1) & A_{ij}(t_2) & \dots & A_{ij}(t_K) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{ij}(t_{L-1}) & A_{ij}(t_L) & \dots & A_{ij}(t_{N-1}) \end{pmatrix} \quad X = [X_{A_{1,1}}, X_{A_{2,1}}, X_{A_{1,2}}, \dots, X_{A_{ij}}, \dots, X_{A_{p-1,q}}, X_{A_{p,q}}]^T$$

$$K = N - L + 1 \quad \text{SVD:} \quad \text{ГК-матрица:}$$

$$X = USV^T \quad X^i = s_i u_i v_i^T$$



← **Рис. 1** Среднеквадратическое отклонение полной изменчивости (суммы первых 10 ГК) придонного давления по данным GRACE за период с 2003 по 2015 г. Шкала эквивалентного уровня воды (ЭУВ).



← **Рис. 2.** Среднеквадратическое отклонение годовой компоненты (ГК 2) изменчивости придонного давления по данным GRACE с 2003 по 2015 г. Шкала ЭУВ.

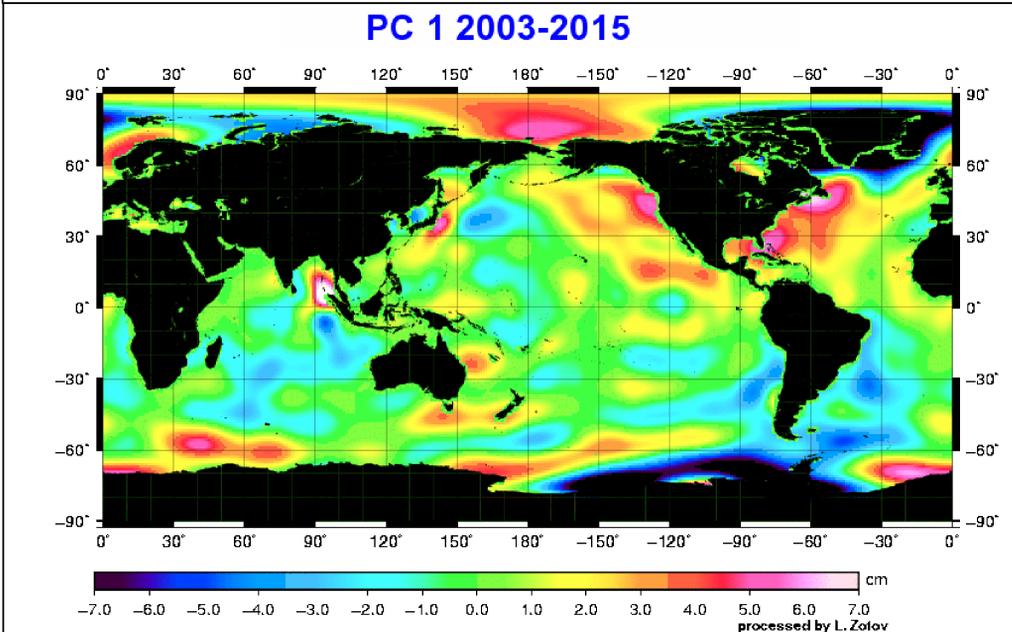
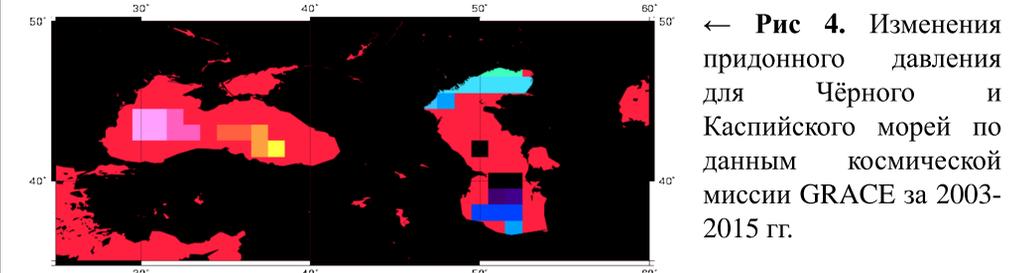


Рис 3. ↑ Глобальные изменения придонного давления для тренда по наблюдениям GRACE, полученные как разность тренда (ГК 1) за 2003-2015 гг.

Литература:

1. L.V. Zotov, C.K. Shum, N.L. Frolova Gravity changes over Russian rivers basins from GRACE, chapter in “Planetary Exploration and Science: Recent Results and Advances”, Springer, 2014.
2. Nina Golyandina, Anatoly Zhigljavsky, Singular Spectrum Analysis for Time Series, Springer, 2013.
3. Zotov L., Application of Multichannel singular spectrum analysis to geophysical fields and astronomical images, Advances in Astronomy and Space Physics, 2, 82-84, 2012.
4. C Chambers, D.P. and J.A. Bonin: Evaluation of Release 05 time-variable gravity coefficients over the ocean. Ocean Science 8, 859-868, 2012.
5. Piecuch, C. G., and R. M. Ponte (2015), Inverted barometer contributions to recent sea level changes along the northeast coast of North America, Geophys. Res. Lett., 42, 5918–5925, doi:10.1002/2015GL064580.



← **Рис 4.** Изменения придонного давления для Чёрного и Каспийского морей по данным космической миссии GRACE за 2003-2015 гг.

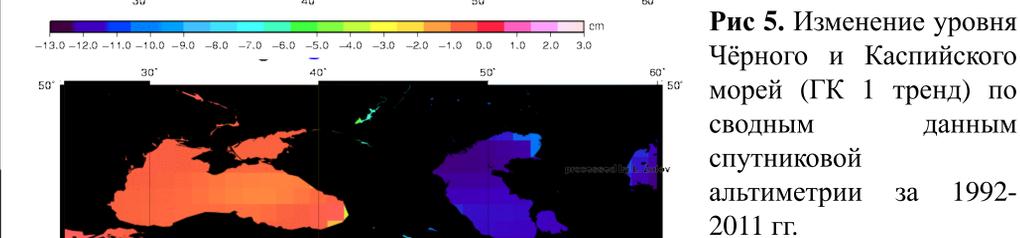
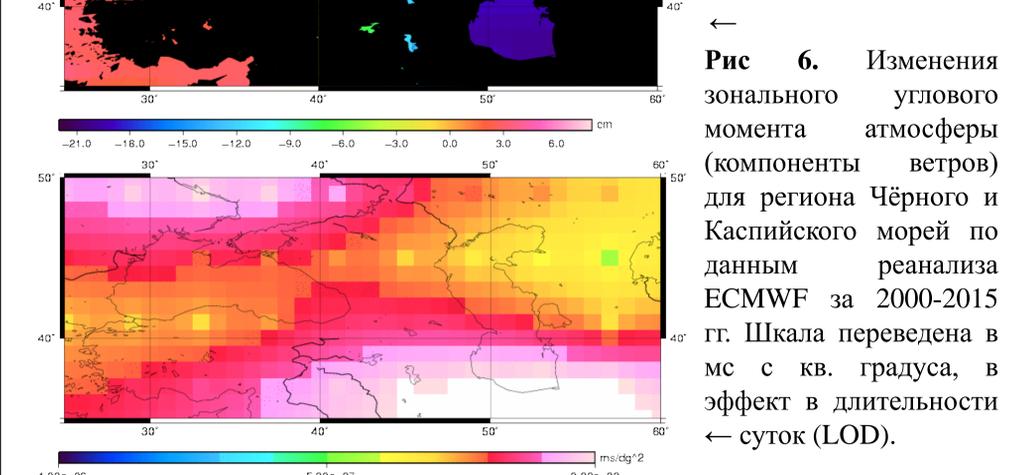
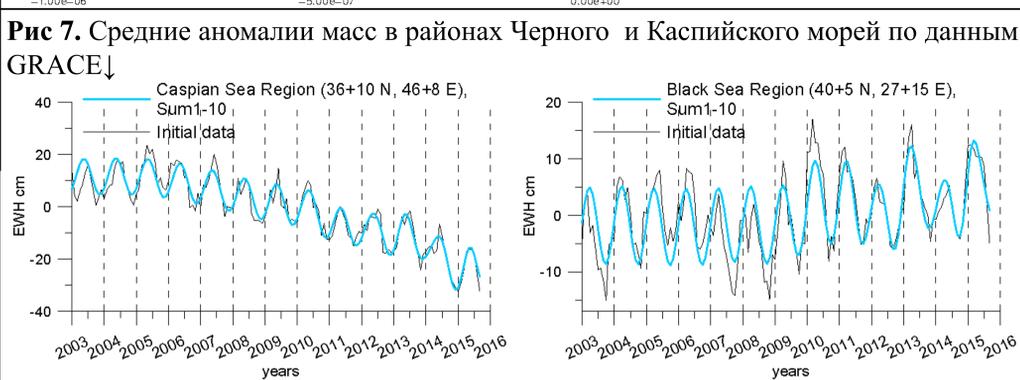


Рис 5. Изменение уровня Чёрного и Каспийского морей (ГК 1 тренд) по сводным данным спутниковой альтиметрии за 1992-2011 гг.



← **Рис 6.** Изменения зонального углового момента атмосферы (компоненты ветров) для региона Чёрного и Каспийского морей по данным реанализа ECMWF за 2000-2015 гг. Шкала переведена в мс с кв. градуса, в эффект в длительности ← суток (LOD).



Закключение: Данные GRACE очень полезны для изучения распределения масс в оболочках Земли, в т.ч. океана. Мы исследовали данные по придонному давлению ОВР [4], разложили их на ГК методом МССА, представили карты для тренда, годовой и общей изменчивости. Тренды в придонном давлении с 2003 по 2015 г особенно велики для побережья Гренландии и Антарктиды, для Арктики, что связано с изменениями климата. Для районов Черного и Каспийского морей представлены также данные альтиметрии и изменений зонального момента ветров.