

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ $J_2$ МЕТОДОМ ССА

Зотов Л. В.<sup>1,2</sup>, Балакирева Е. Ю.<sup>1</sup>

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



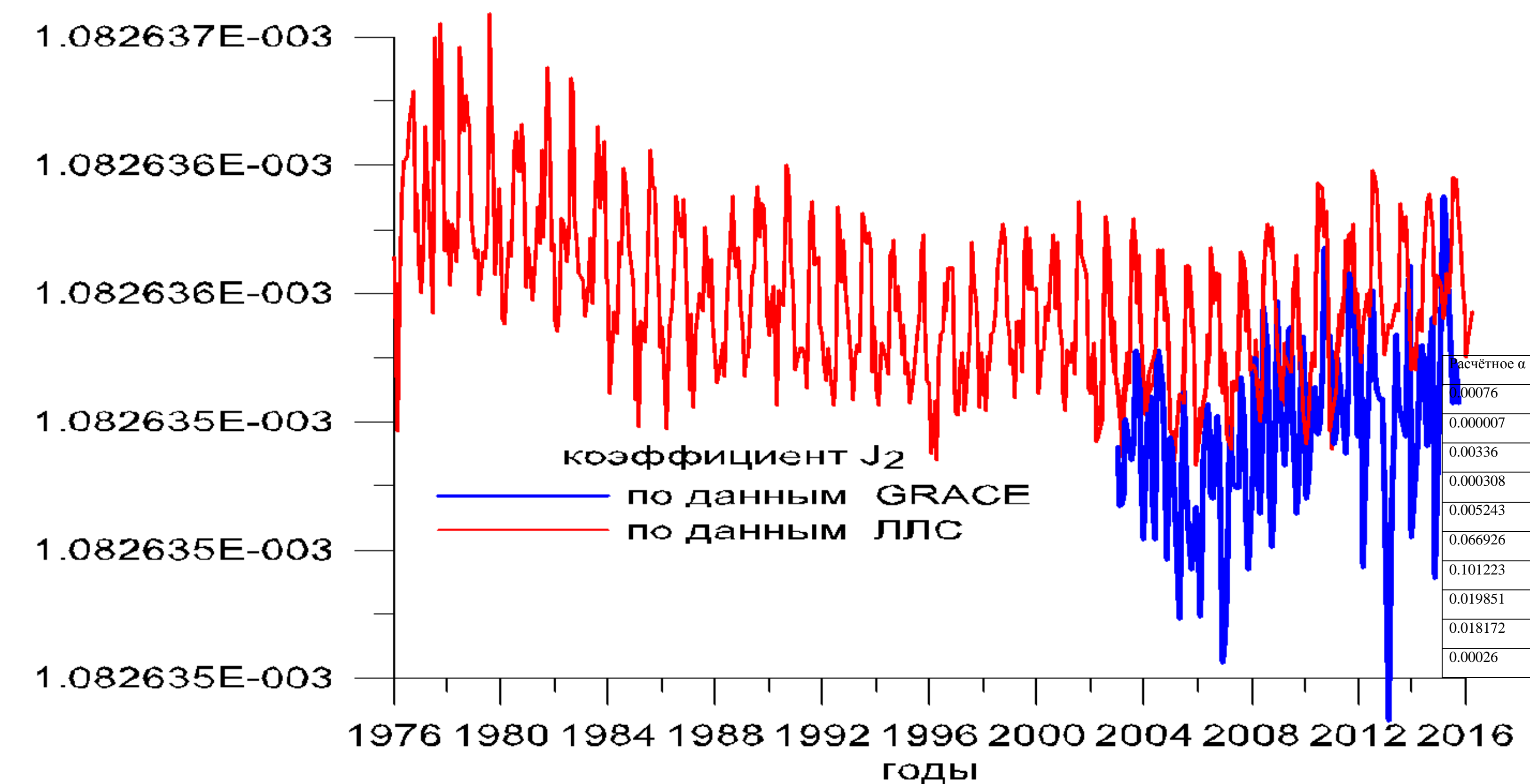
**Абстракт:** Методом сингулярного спектрального анализа (ССА) исследован временной ряд изменений коэффициента  $J_2$  разложения гравитационного поля Земли по данным лазерной локации спутников (ЛЛС) с 1976 по 2016 г. Выявлены годовое, полугодовое 10 и 20-летние колебания, а также тренд, напоминающий часть колебания с возможным периодом ~60 лет и минимумом около 2005 г. Изменения коэффициента  $J_2$  сопоставляются с другими геофизическими процессами, обсуждаются возможные влияния на Чандлеровское колебание полюса Земли.

**Исходные данные:** Использован временной ряд коэффициента разложения гравитационного потенциала  $J_2$  с 1976 по 2016 г., полученный по данным лазерной локации спутников. Шаг – 1 месяц. На основе измерений расстояний до спутников LAGEOS и др. с установленными на борту лазерными отражателями определяются координаты спутников и возмущения в их орбитах, связанные с коэффициентами гравитационного поля Земли. Это позволяет определить не только вариации коэффициента  $J_2$ , но и изменения в положении геоцентра и другие эффекты в первых гармониках потенциала.

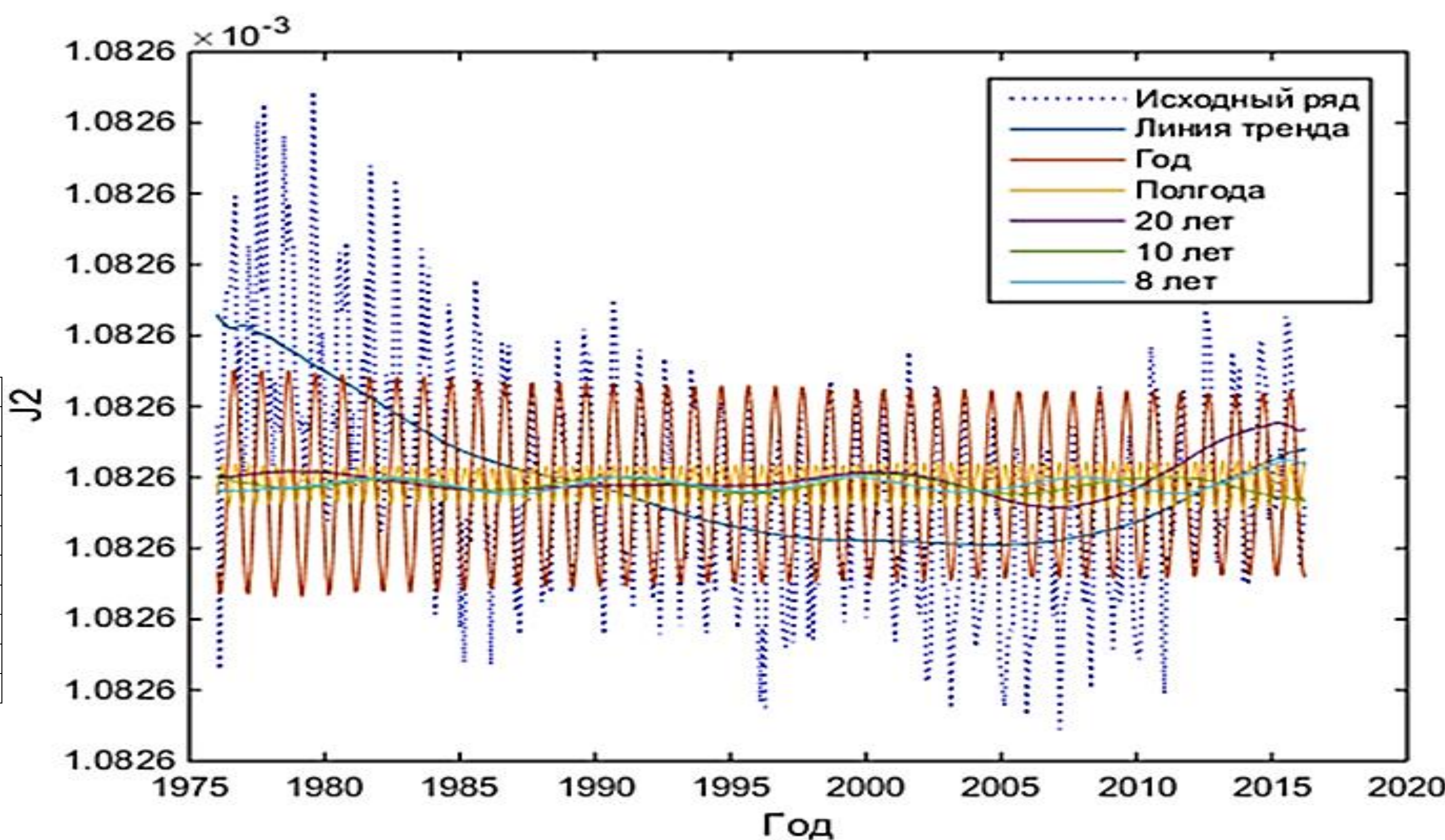
**О методе ССА:** Сингулярный спектральный анализ (ССА) основан на методе главных компонент (МГК), обобщенном для временных рядов таким образом, что вместо обычной корреляционной матрицы анализируется траекторная матрица. Ее получают вложением временного ряда в пространство размерности  $L$ . Параметр  $L$  называют лагом, или длиной “гусеницы”. Алгоритм ССА включает четыре этапа:

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

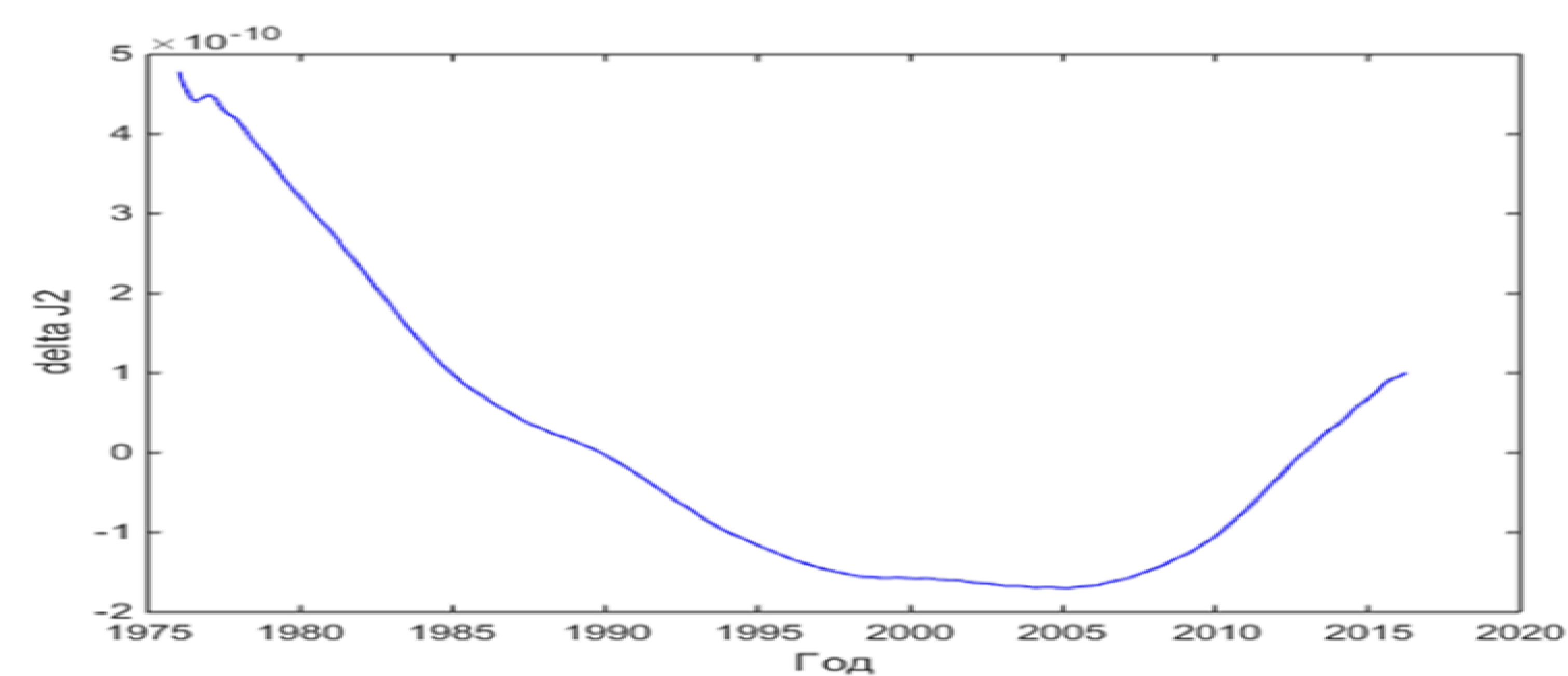
Алгоритм ССА описан детально в [4]. ССА более гибок, чем МГК, позволяет разделить тренд, колебания с меняющимися амплитудами, отфильтровать шумы. Мы применили его к данным лазерной локации спутников, выбрав параметр лага  $L=216$  (18 лет).



**Рисунок 1.** Исходный ряд коэффициента  $J_2$ , полученный по данным SLR с 1976 по 2016 год в сравнении с менее точно определенными значениями на основе данных GRACE с 2003 г.



**Рисунок 2.** Выделенные главные компоненты на фоне исходного ряда  $J_2$ .



**Рисунок 3.** График компоненты тренда с возможным периодом ~60 лет

Планета	$J_2, * 10^{-6}$	Расчётное $\alpha$	Наблюдаемое $\alpha$
Меркурий	50.3	0.00076	0
Венера	4.458	0.000007	0
Земля	1082.63	0.00336	0.00335
Луна	202.7	0.000308	0.0012
Марс	1960.45	0.005243	0.00589
Юпитер	14736	0.066926	0.06487
Сатурн	16298	0.101223	0.09796
Уран	3343.43	0.019851	0.02293
Нептун	3411	0.018172	0.01708
Плутон	90.1	0.00026	0

**Таблица 1.** Значения  $J_2$  для планет Солнечной системы, полученные по данным последних космических миссий и сравнение сжатия планет, полученного по формуле Клеро с наблюдаемым

## Список литературы

- Cheng, M., B. D. Tapley, and J. C. Ries (2013), Deceleration in the Earth's oblateness, // J. Geophys. Res. Solid Earth, 118, 740–747, doi:10.1002/jgrb.50058.
- 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, 2016
- Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с.
- Xiaoping W., Jim Ray, Tonie van Dam. Geocenter motion and its geodetic and geophysical implications // Journal of Geodynamics, 58 (2012), p 44-61.

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

## Результаты ССА:

Применение ССА позволило выделить компоненты с периодами 0.5 года, 1 год, 8, 10 и 20 лет. Они связываются с сезонными и декадными перераспределениями масс океана, атмосферными колебаниями и воздействием лунных приливов; также высказывается предположение о связи 10-ти летней компоненты с активностью Солнца. Важным результатом является обнаружение тренда, с возможным периодом около 60 лет. Такого рода период также присутствует в амплитуде Чандлеровского колебания полюса Земли, скорости ее вращения и климатических индексах.