

Статистическая связь данных системы GRACE с количеством солнечной энергии

О. В. Рыбас, Г. З. Гильманова

*Институт тектоники и геофизики ДВО РАН им. Ю. А. Косыгина
Хабаровск, 680000, Россия
E-mail: gigulya@yandex.ru*

Представление набора данных GRACE за весь период наблюдений в качестве трёхмерного объекта исследований позволило воспользоваться гауссовыми фильтрами для удаления короткопериодических компонент исходного сигнала. Трёхмерная модель GRACE после необходимых преобразований была разложена на последовательность изображений или фреймов с шагом 30 дней, с последующей анимацией, которая позволила отследить как периоды активного изменения поля, так и периоды относительного спокойствия в разных районах планеты. Для формальной оценки изменений была выбрана величина стандартного среднеквадратичного отклонения (дисперсия) значений глобально-осреднённой толщины эффективного слоя воды (отклонения напряжённости гравитационного поля в данной точке орбиты от средних многолетних значений, пересчитанные в толщину эквивалентного слоя воды) за каждый 30-дневный период наблюдений. Были построены графики дисперсии на весь период наблюдений как по отдельным районам, так и на весь мир. Каждый из рассмотренных регионов имеет свои отличительные особенности графиков дисперсии, при этом объединяющим их свойством является наличие синхронных спадов и подъёмов. Сравнение этих графиков с графиком солнечной активности показало их согласованность.

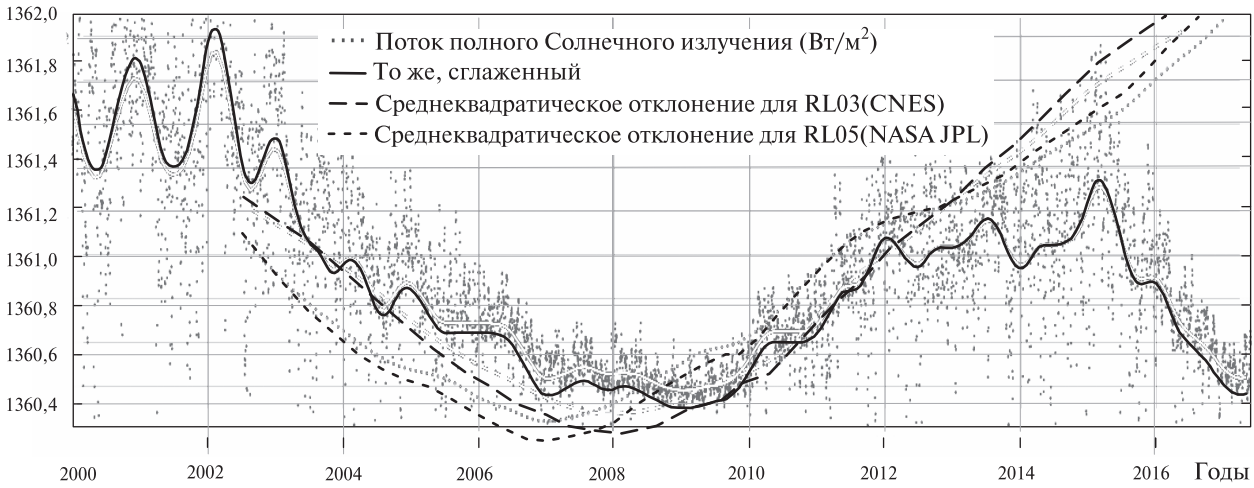
Ключевые слова: спутник GRACE, масштабное пространство, гауссовы сглаживания, солнечная активность

Одобрена к печати: 19.03.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-263-266

Данные миссии GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) применяются в океанографических, гидрологических, геофизических, геодезических и геодинамических исследованиях (Tapley et al., 2004). В вариациях гравитационного поля Земли во времени присутствуют как сезонные климатические составляющие, так и частотные компоненты, связанные с таянием ледников, тектоническими факторами и др. (Михайлов и др., 2016; Tonaka et al., 2015). Гравитационное поле у поверхности Земли является комбинацией эффектов от гравитирующих масс различной глубины, размеров и природы. Изначально перед данным исследованием ставилась цель отследить общие закономерности изменения гравитационного поля на основе набора данных GRACE в тектонически активных регионах, так как возможными причинами долгопериодических вариаций гравитационного поля Земли могут являться тектонические факторы, связанные с мантийной конвекцией и сопутствующим ей перераспределением плотностей в литосфере, а также с перераспределением масс в результате крупных землетрясений (Han et al., 2014) и др.

Исходный материал — набор данных уровня обработки L3, где на градусной сетке (с шагом $1 \times 1^\circ$) представлены значения отклонения напряжённости гравитационного поля в каждой точке наблюдения от средних многолетних значений, пересчитанные в толщину эквивалентного слоя воды (в сантиметрах). На сегодняшний день наборы L3 доступны в двух центрах: NASA JPL (Jet Propulsion Laboratory — Лаборатория реактивного движения) и CNES (Centre National d'Études Spatiales — Национальный центр космических исследований Франции) (последний, возможно, уже вышел из проекта). Данные NASA представлены пятым релизом RL05 с примерно 30-дневным шагом наблюдений (апрель 2002 г. — январь 2017 г.). Данные CNES — не выше третьего релиза RL03; период наблюдений — с августа 2002 г. по май 2016 г. с шагом примерно 10 и 30 дней.



Графики среднеквадратичного отклонения (дисперсии) значений глобально-осреднённой мощности эффективного слоя воды двух центров предоставления данных GRACE уровня L3: французского космического центра CNES (RL03) и лаборатории реактивного движения NASA JPL (RL05). Точечными отметками обозначен график потока полной энергии солнечного излучения (TSI — Total Solar Irradiance), а сплошной линией — его сглаженный вариант в единицах измерения Вт/м². Графики дисперсии масштабированы к TSI для наглядности

Исходные данные были перестроены в трёхмерную модель, интерполированную на регулярную сеть, где каждый двухмерный пространственный слой является набором значений величин толщины эквивалентного слоя воды в градусной проекции в соответствующий временной интервал. Наиболее подходящими регулярными шагами интерполяции можно считать 30-дневный — для аналитических вычислений и предварительных оценок — и 10-дневный — для 2D-визуализации исходного и сглаженного материала, их производных и векторных силовых линий (градиентов, роторов). В качестве фильтра использовалось 3D-гауссово сглаживание, где кроме двух пространственных измерений доступно третье — временное (Рыбас, Гильманова, 2011).

Для визуализации был написан ряд программ, позволяющих интерактивное взаимодействие с данными GRACE, с инструментарием для выделения интересующих пространственных участков и временных окон, с подбором масштабных параметров сглаживания в режиме реального времени. Дополнительно выводятся: градусная сетка, границы континентов и литосферных плит, землетрясения с магнитудой 7 и выше. Доступны все необходимые манипуляции с исходным материалом, а именно: сглаживание, дифференцирование, построение матриц градиентов изменения гравитационного поля (эквивалента уровня воды), включая зависимость от времени, построение различного рода векторных полей, а также возможность сохранения результата в видеофайл или единичный фрейм в растровое изображение.

В ходе выполнения данной работы был выявлен ряд особенностей изменения во времени глобально-усреднённой толщины эффективного слоя воды в отдельных сейсмически активных регионах, в том числе в районе Сихотэ-Алиня и прилегающей территории, которые требуют детального изучения и сопоставления с геофизическими, геологическими и другими данными. Объединяющим свойством является неравномерность изменения исследуемой величины в зависимости от периода наблюдений: заметные изменения были отмечены в 2002–2004 и в 2014–2016 гг., тогда как в 2006–2008 гг. наблюдался их спад. В качестве критерия использовалось стандартное среднеквадратичное отклонение (дисперсия) для каждого из пространственных слоёв. Для проверки согласованности периодов вариаций гравитационного поля Земли с солнечной активностью с сервера физико-метеорологической обсерватории (Давос, Швейцария, <http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>) были взяты данные по полному солнечному излучению (TSI — Total Solar Irradiance). Его непрерывный мониторинг ведётся с 1976 г.; с 1994 г. наблюдения производятся инструментом VIRGO, который, в свою очередь, находится на борту космического аппарата SOHO (Solar

and Heliospheric Observatory, <http://sohowww.nascom.nasa.gov>). VIRGO производит замер плотности электромагнитного излучения в широком частотном диапазоне с точностью не ниже 1 Вт/м^2 при среднем потоке солнечной радиации $\sim 1361 \text{ Вт/м}^2$.

Из совмещённых нормализованных (для наглядности) графиков солнечного излучения и дисперсии глобально-усреднённой толщины эффективного слоя воды можно видеть их явную согласованность (рисунки). Ранее в работе (Meyer et al., 2016) сообщалось о корреляции шумов моделей гравитационного поля по данным GRACE уровня L1B с солнечной активностью. Свои исследования мы проводили с данными уровня L3, при этом глобально-усреднёнными. Факт высокой корреляции глобально-усреднённой толщины эффективного слоя воды с плотностью потока энергии солнечного излучения представляется нам интересным и заслуживает дальнейшего изучения.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 16-17-00015).

Литература

1. Михайлов В. О., Диаман М., Любушин А. А., Тимошкина Е. П., Хайретдинов С. А. Крупномасштабный асейсмический крип в областях сильных землетрясений по данным спутников Грейс. О временных вариациях гравитационного поля // Физика Земли. 2016. № 5. С. 70–81.
2. Рыбас О. В., Гильманова Г. З. Применение теории масштабируемого пространства для выделения и анализа структур рельефа по радиолокационным данным // Исследование Земли из космоса. 2011. № 6. С. 45–52.
3. Han S. C., Sauber J., Pollitz F. Broad-scale postseismic gravity change following the 2011 Tohoku-Oki earthquake and implication for deformation by viscoelastic relaxation and afterslip // Geophysical Research Letters. 2014. V. 41. Iss. 16. P. 5797–5805.
4. Meyer U., Jäggi A., Jean Y., Beutler G. AIUB-RL02: an improved time-series of monthly gravity fields from GRACE data // Geophysical J. Intern. 2016. V. 205. Iss. 2. P. 1196–1207.
5. Tapley B. D., Bettadpur S., Ries J. C., Thompson P. F., Watkins M. GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System // Science. 2004. V. 305. Iss. 5683. P. 503–505.
6. Tonaka Yu., Heki R., Matsuo K., Shastakov N. Crustal subsidence observed by GRACE after the 2013 Okhotsk deep-focus earthquake // Geophysical Research Letters. 2015. V. 42. Iss. 9. P. 3204–3209. DOI: 10.1002/2015GL063838.

Statistical relationship between GRACE satellite data and total global solar radiation values

O. V. Rybas, G. Z. Gil'manova

*Yu. A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS
Khabarovsk 680000, Russia
E-mail: gigulya@yandex.ru*

Visualizing the GRACE satellite data for the entire observation period as a three-dimensional (3D) feature enabled Gaussian filters to be used to remove short-period components of the initial signal. The 3D model was then converted into multiple raster images or frames with a 30-day interval sequenced together to create an animation which made it possible to identify both periods of change in the Earth's gravity field and periods of relative stability in different regions of the planet. To formally assess these gravity variations, the root-mean-square deviation (dispersion) of the global-average thickness of the active water layer was chosen (deviation of the gravity field intensity at a given point of the orbit from the multi-year average converted to equivalent water thickness) for each 30-day

observation period. Dispersion curves were plotted for the entire observation period both for individual regions and for the whole world. Dispersion curves of each of the regions examined have their own distinctive features but synchronous points of increase and decrease are typical of all of them. Comparison of these curves with the solar activity plots showed their consistency.

Keywords: GRACE satellite, Gaussian smoothing, Scale-Space, geodynamics, lithosphere plates, seismicity

Accepted: 19.03.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-263-266

References

1. Mikhailov V. O., Diaman M., Lyubushin A. A., Timoshkina E. P., Khairtudinov S. A., Krupnomasshtabnyi aseismicheskii krip v oblastiakh sil'nykh zemletryaseni po dannym sputnikov Greis. O vremennykh variatsiyakh gravitatsionnogo polya (Large-scale aseismic creep in the areas of strong earthquakes, according to the Grace satellites data), *Fizika Zemli*, 2016, No. 5, pp. 70–81.
2. Rybas O. V., Gil'manova G. Z., Primenenie teorii masshtabiruemogo prostranstva dlya vydeleniya i analiza struktur rel'efa po radiolokatsionnym dannym (Application of the scale-space theory for the isolation and analysis of relief structures according to the radar data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2011, No. 6, pp. 45–52.
3. Han S. C., Sauber J., Pollitz F., Broad-scale postseismic gravity change following the 2011 Tohoku-Oki earthquake and implication for deformation by viscoelastic relaxation and afterslip, *Geophysical Research Letters*, 2014, Vol. 41, Issue 16, pp. 5797–5805.
4. Meyer U., Jäggi A., Jean Y., Beutler G., AIUB-RL02: an improved time-series of monthly gravity fields from GRACE data, *Geophys. J. Intern.*, 2016, Vol. 205, Issue 2, pp. 1196–1207.
5. Tapley D., Bettadpur S., Ries J. C., Thompson P. F., Watkins M., GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System, *Science*, 2004, Vol. 305, Issue 5683, pp. 503–505.
6. Tonaka Yu., Heki R., Matsuo K., Shestakov N., Crustal subsidence observed by GRACE after the 2013 Okhotsk deep-focus earthquake, *Geophysical Research Letters*, 2015, Vol. 42, Issue 9, pp. 3204–3209, DOI: 10.1002/2015GL063838.