

22. Попов Y., Beardsmore G., Clauser C., Roy S. ISRM Suggested methods for determining thermal properties of rocks from laboratory tests at atmospheric pressure // *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2016. N 49(10). P. 4179–4207.
23. Попов Y., Parshin A., Al-Hinai S., Miklashevskiy D., Попов E., Dyshlyuk E., Chekhonin E., Safonov S., Khan R. Experimental investigations of reservoir thermal properties for heavy oil field in Oman with new methods and equipment. In: *Proceedings // The World Heavy Oil Congress*. New Orleans, USA, Louisiana, 2014. WHOC 14–258.
24. Попов Y., Pribnow D., Sass J., Williams C., Burkhardt H. Characterisation of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning // *Geothermics*, 1999, N 28, P. 253–276.
25. Попов Y., Tertychnyi V., Romushkevich R., Korobkov D., Pohl J. Interrelations between thermal conductivity and other physical properties of rocks: experimental data // *Pure and Applied Geophysics*, 2003. N 160. P. 1137–1161.
26. Woodside, W., and J. H. Messmer. Thermal conductivity of porous media. II Consolidated rocks // *Journal of Applied Physics*. 1961. N 32 (9). P. 1688–1699.

УДК 550.831:550.348

АНОМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Ю.В. АНТОНОВ

*Воронежский государственный университет
394006, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., 1; e-mail yuriyantono@yandex.ru*

Неприливные вариации силы тяжести являются остаточной частью мониторинговых вариаций после вычитания из них лунно-солнечных вариаций силы тяжести и смещения нуля-пункта гравиметра. Неприливные вариации имеют иногда сложные морфологию и структуру. Источниками неприливных вариаций служат внутриземные процессы и потоки заряженных частиц в космосе. Потоки последних могут оказывать влияние на датчик гравиметра. Потоки заряженных частиц могут создать мощные магнитогидродинамические удары, которые вызывают аномальные изменения силы тяжести. Необходимо учитывать неприливные вариации при проведении высокоточных гравиметрических измерений.

Ключевые слова: неприливные вариации силы тяжести; лунно-солнечные вариации силы тяжести; скачки силы тяжести; аномальные колебания силы тяжести; потоки заряженных частиц.

ABNORMAL CHANGES OF THE NON-TIDAL VARIATIONS OF GRAVITY

YU.V. ANTONOV

*Voronezh State University
394018, Russia, Voronezh, Universitetskaya pl., 1; e-mail: yuriyantono@yandex.ru*

Non-tidal variations of gravity are the residual part of the monitoring of the variations after subtraction from them the lunar-solar gravity variations and the drift of the zero point of the gravimeter. Non-tidal variations are sometimes of complex morphology and structure. The sources of the non-tidal variations are the intracrustal processes and flows of the charged particles in space. The streams of the charged particles can affect the sensor of the gravimeter. The streams of the charged particles can create a powerful magnetic hydrodynamic (MHD) shocks that cause abnormal changes of gravity. It is necessary to consider the non-tidal variations when carrying out high-precision gravimetric measurements.

Keywords: non-tidal variations of gravity; lunar-solar variations of gravity; jumps of gravity; abnormal fluctuations of gravity; streams of the charged particles.

Мониторинговые наблюдения гравиметром SG—5 Autograv проведены на Геодинамическом полигоне РАН в г. Бишкек (Киргизстан). Гравиметр установлен в штольне с постоянной температурой около 8° С, примерно в 30 км от города, так что помехи техногенного характера практически

отсутствуют. Гравиметр, как любой измерительный прибор, имеет погрешности наблюдений. Конечно, при мониторинговых измерениях за счёт замкнутости пространства измерений и при сохранении в нём стабильности физических параметров влияние большинства погрешностей удастся свес-

ти к минимуму. Тем не менее отдельных отклонений от нормального хода неприливых вариаций избежать невозможно.

Напомним, что под неприливыми вариациями силы тяжести понимается остаточное поле силы тяжести после исключения из наблюдаемого поля лунно-солнечных вариаций силы тяжести и линейного фона, вызванного смещением нуля-пункта [1]. Неприливые вариации силы тяжести изменяются во времени непредсказуемо. Вначале рассмотрим так называемые скачки — резкое скачкообразное изменение вариации во времени (рис. 1). Как правило, амплитуда таких скачков порядка $\pm 0,05$ мГал. Причиной таких скачков всегда считалась электризация измерительной системы [5]. Наверное, так оно и есть. В отличие от полевых работ при мониторинговых наблюдениях можно рассмотреть изменение скачка во времени (рис. 1, б, г). Скачки длятся несколько часов. Несмотря на наличие магнитного поля Земли, служащего барьером для потоков заряженных частиц, в приземном пространстве достаточно много заряженных частиц, которые воздействуют на измерительную систему прибора, вызывая изменение показаний гравиметра. В данном случае это уже не случайная погрешность, как принято считать при проведении полевых работ, а «аппаратурная» аномалия. Аномалия создается не за счёт изменения силы тяжести (масса заряженных частиц ничтожна), а в результате воздействия зарядов на измерительную систему гра-

ви-метра. Кроме того, надо отметить, что при неправильной установке местного времени в гравиметре могут происходить скачки в несколько десятков миллигал. Это связано с программным обеспечением гравиметра. Скачки происходят мгновенно и приурочены они к смене суток по всемирному времени, так что учёт скачков производится элементарно. За счёт дефектов в программном обеспечении случаются скачки до $\pm 0,5$ мГал на переходе от невисокосного года к високосному и от последнего к невисокосному году. Скачок происходит ровно в 24 ч 00 мин.

Всё обстоит гораздо сложнее, когда начинается скачкообразное изменение неприливых вариаций в течение длительного времени наблюдений. Рассмотрим изменение неприливых вариаций в ноябре 2015 г. (рис. 2, 3). Поскольку из-за условий записи измерений гравиметром трудно объединить все записи в один файл, то поэтому данные приводятся разными частями. С конца октября 2015 г. (рис. 2, а) неприливая вариация начинается скачкообразно изменяться с постепенным усилением амплитуды более $\pm 0,10$ мГал. С конца ноября 2015 г. (рис. 2, в) амплитуда колебаний уменьшается и в первых числах декабря 2015 г. затухает. По большей части такая амплитуда неприливых вариаций присуща лунно-солнечным вариациям, но правда, промежуток времени в этом случае больше на порядок. Обычно для неприливых вариаций характерны пульсации с амплитудой от $\pm 0,02$ мГал

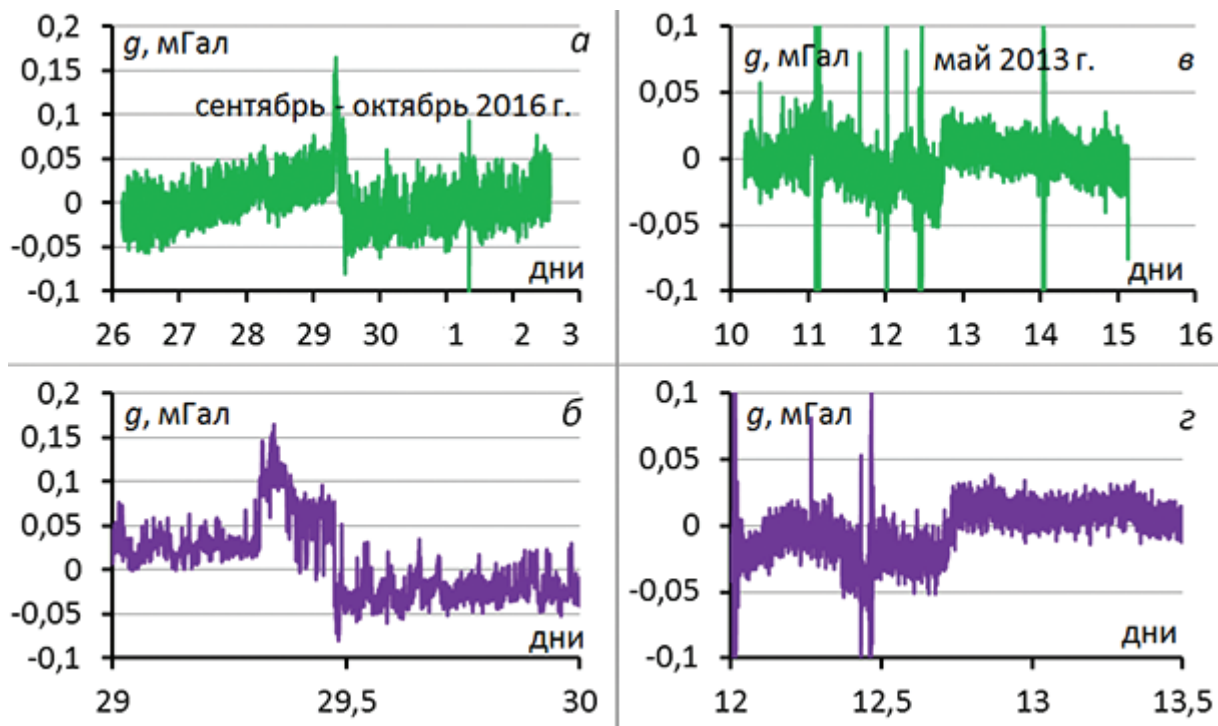


Рис. 1. Примеры скачкообразного изменения неприливых вариаций силы тяжести: а — скачок неприливых вариаций 29 ноября 2016 г.; б — изменение линейного фона (смещения нуля-пункта); в — скачок неприливых вариаций 12 мая 2013 г.; г — изменение линейного фона (смещения нуля-пункта); д — характер изменения силы тяжести в зоне скачка 12 мая 2013 г.

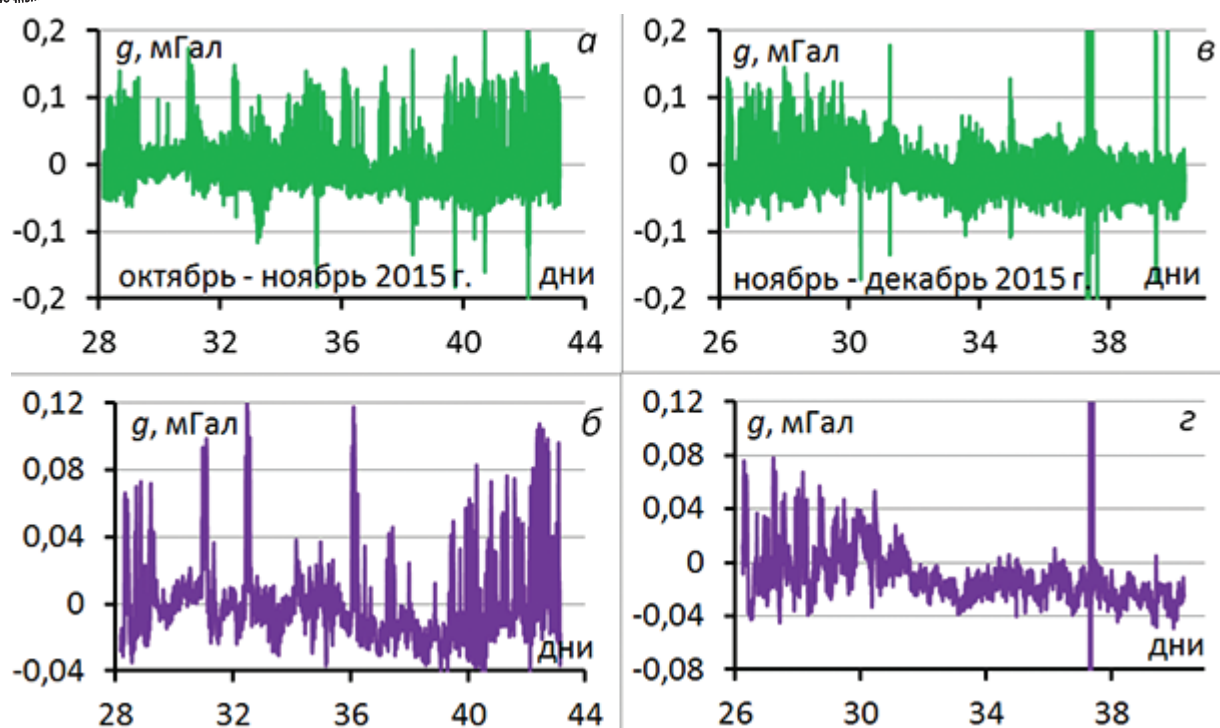


Рис. 2. Начало (28 октября—12 ноября 2015 г.) и окончание (26 ноября—10 декабря 2015 г.) аномальных колебаний не-приливных вариаций силы тяжести: а — аномальные колебания несприливных вариаций силы тяжести 28 октября—12 ноября 2015 г.; б — осреднённые значения колебаний несприливных вариаций силы тяжести за 28 октября—12 ноября 2015 г. (интервал сглаживания 20 мин.); в — аномальные колебания несприливных вариаций силы тяжести 28 октября—12 ноября 2015 г.; з — осреднённые значения колебаний несприливных вариаций силы тяжести за 26 ноября—10 декабря 2015 г. (интервал сглаживания 20 мин.)

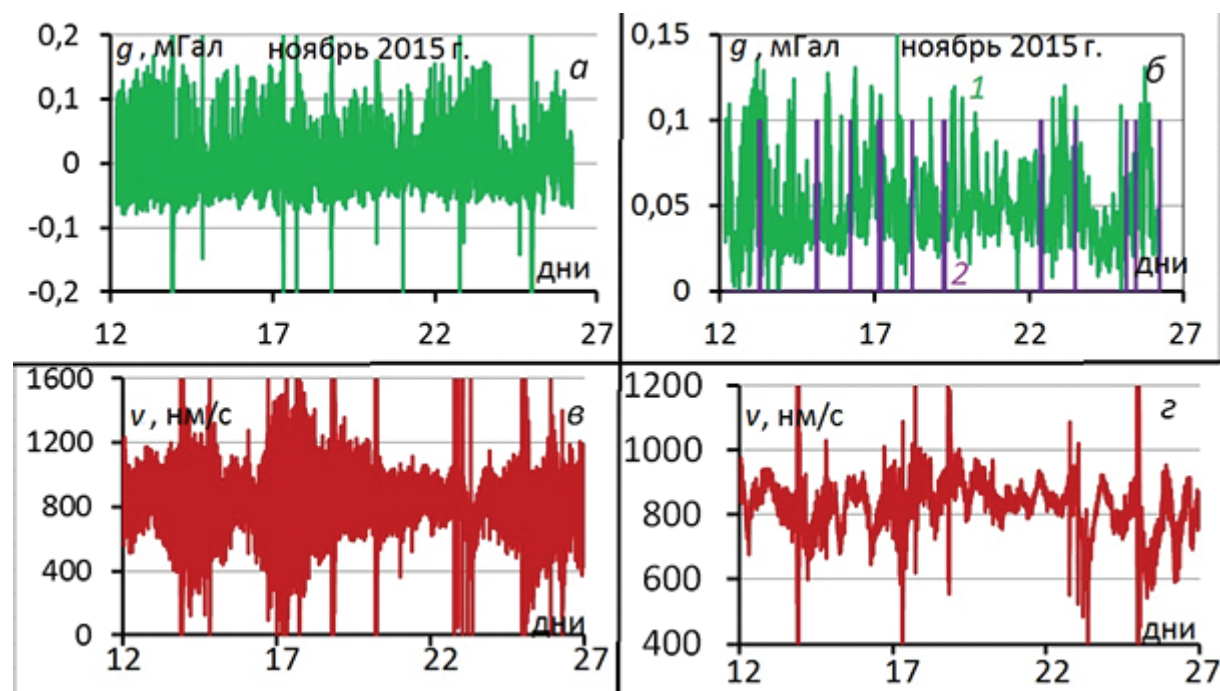


Рис. 3. Сравнение аномальных колебаний несприливных вариаций силы тяжести (12 ноября—26 ноября 2015 г.) с сейсмическими данными: а — аномальные колебания несприливных вариаций силы тяжести 12—26 ноября 2015 г.; б — осреднённые значения колебаний несприливных вариаций силы тяжести (кривая 1) за 12—26 ноября 2015 г. (интервал сглаживания 20 мин.) и всплески (кривая 2) быстрых радиоимпульсов; в — колебания вертикальной составляющей сейсмического поля 12—26 ноября 2015 г.; з — осреднённые значения колебаний вертикальной составляющей сейсмического поля 12—26 ноября 2015 г. (интервал сглаживания 20 мин.)

в весенне-летний период и до $\pm 0,05$ мГал в осенне-зимний период [1–4]. Эти пульсации легко удаляются осреднением. На рис. 2, б, г приведены осредненные значения вариаций, приведенных на рис. 2, а, в (интервал осреднения 20 мин., шаг дискретизации 1 мин.).

Практически весь ноябрь 2015 г. сопровождался непредсказуемыми колебаниями силы тяжести (рис. 3, а). Как раз в тот отрезок времени, который расположен между началом и концом аномальных колебаний вариаций, приведенных на рис. 2, а, в). При этом надо отметить, что снизу колебания имеют примерно постоянную амплитуду, а сверху амплитуда меняется в широких пределах. Здесь (рис. 3, в) представлена запись вертикальной сос-

тавляющей сейсмического поля, для которого характерны заметные пульсации. Гравиметрические и сейсмические наблюдения были осреднены (рис. 3, б, г). Осреднённые вариации (рис. 3, б, г) в целом совпадают между собой, имеют большие амплитуды изменения. Остаточная часть, которая после вычитания осреднённых вариаций из неприливных вариаций по существу являются пульсацией [1, 4], представлена на рис. 4, а. Там же (рис. 4, б) дана сейсмическая пульсация. Пульсирующий характер сейсмических данных чётко выражен не только на остаточной вариации (рис. 4, б), но и в исходных данных (рис. 3, в). В гравиметрических данных (рис. 4, а) таких пульсаций не выявлено. Причина этого, вероятно, заключается в том, что

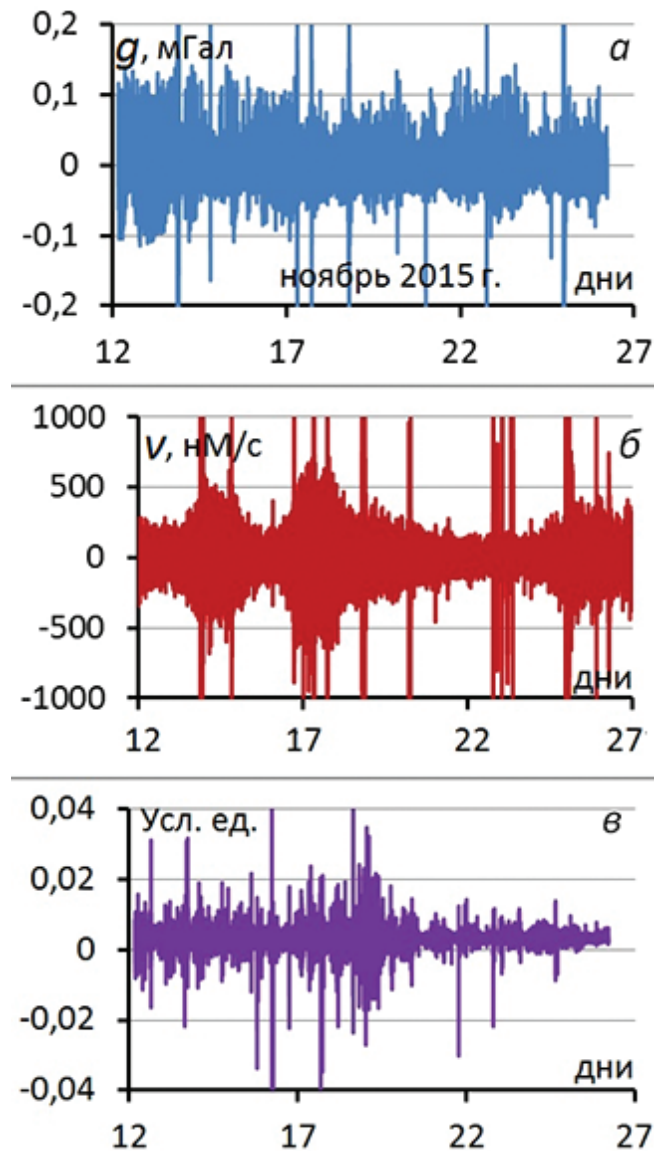


Рис. 4. Сравнение пульсаций аномальных колебаний неприливных вариаций силы тяжести (12 ноября–26 ноября 2015 г.) с сейсмическими пульсациями и магнитотеллурическими данными: а — пульсации аномальных колебаний неприливных вариаций силы тяжести 12–26 ноября 2015 г.; б — пульсации вертикальной составляющей сейсмического поля 12–26 ноября 2015 г.; в — магнитотеллурические вариации 12–26 ноября 2015 г.

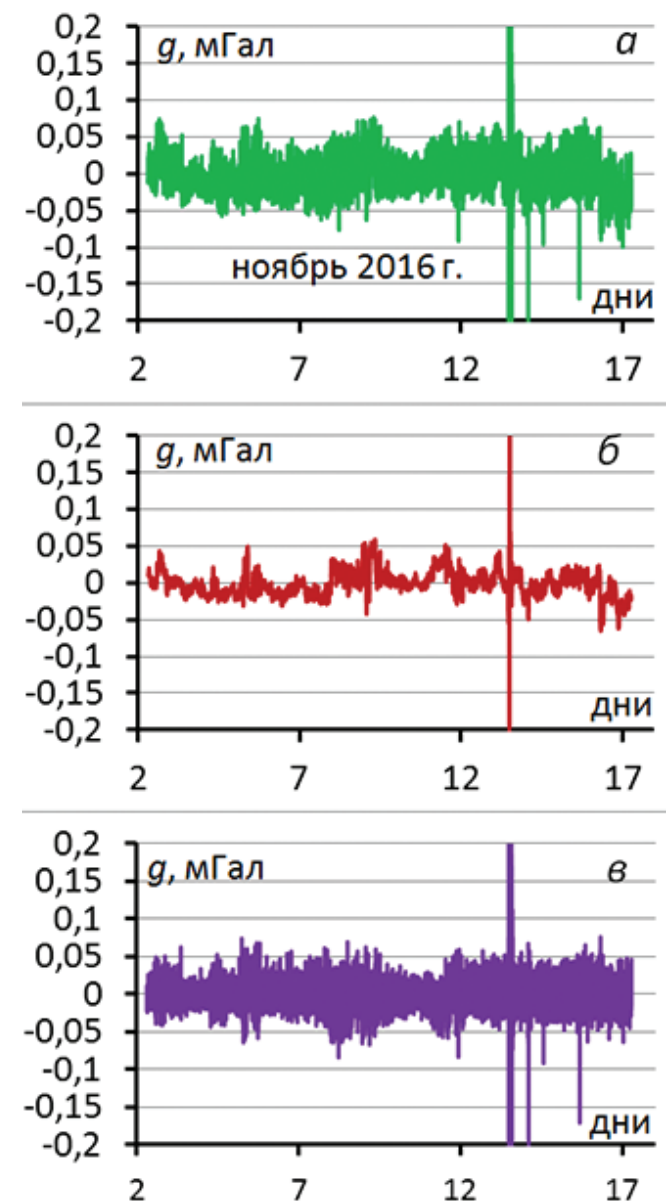


Рис. 5. Неприливных вариаций силы тяжести, осреднённые значения и пульсации вариаций (2 ноября–17 ноября 2016 г.): а — неприливные вариации силы тяжести 2–7 ноября 2016 г.; б — осреднённые значения неприливных вариаций 2–17 ноября 2016 г.; в — пульсация неприливных вариаций 2–17 ноября 2016 г.

чувствительность сейсмического датчика выше, чем у гравиметра.

На рис. 4, в дополнительно приведены данные по магнитотеллурическому зондированию. В [3] отмечалось, что при наличии гравиметрических пульсаций амплитуда магнитотеллурических зондирований уменьшается. В конкретном случае видим обратную картину — амплитуда магнитотеллуриков повышенная. Следовательно, гравиметрических пульсаций нет и не отмечено значимых метеорных потоков в это время [3]. Видимо, сейсмические пульсации, приуроченные к повышенным значениям магнитотеллуриков, не связаны с метеорными потоками и имеют другую природу. Если в это время были бы метеорные потоки, которые, как правило, периодически повторяются, то пульсаций в исследуемый интервал ноября до и после 2015 г. не наблюдается. Кстати, на рис. 5 показаны неприливая вариация, осреднённая вариация и пульсация. Нет также повторения аномальных колебаний большой амплитуды в ноябре 2016 г.

С целью изучения аномальных колебаний был проведён спектральный анализ осреднённых вариаций за ноябрь месяц в течение 2012—2016 гг. (рис. 6). Результаты анализа прошлых лет сравнивались с результатами ноября 2015 г. На рис. 6, а, в приведены графики спектральной плотности мощности за ноябрь 2015 и 2016 гг. Общим репером для

спектров является период 720—750 мин. Указанный период близок к лунно-солнечной волне M2, так как возможен недоучёт в программном обеспечении гравиметра. Этот период также можно объяснить давлением света, которое не учитывается при обработке наблюдений в CG-5 Autograv. Возможен вариант объяснения из-за изменения во времени скорости лунно-солнечных вариаций. Все остальные более длинные периоды характерны для неприливных вариаций [1—4]. Дополнительно надо отметить, что период 750 мин. для аномальных вариаций имеет значительно большую амплитуду, чем для обычных вариаций.

На рис. 6, б, г приведены спектральные плотности мощности для временного отрезка 0—400 мин. Спектры для аномальных и обычных неприливных вариаций в общем виде похожи. На спектрах аномальных вариаций с повышенной амплитудой чётко выделяются периоды 107, 147, 171, 273 и 349 мин. Последние объясняются собственными колебаниями Земли. Кстати, в [6] выделяются собственные колебания Солнца с периодом 105, 149 и 171 мин. К сожалению, в [6] колебания с более длинными периодами не приводятся. Какие колебания (Солнца или Земли) являются первичными неясно. Возможно, они свойственны Солнцу и Земле, как сферическим телам. Поэтому при ударе потока частиц как от Солнца, так и от других ис-

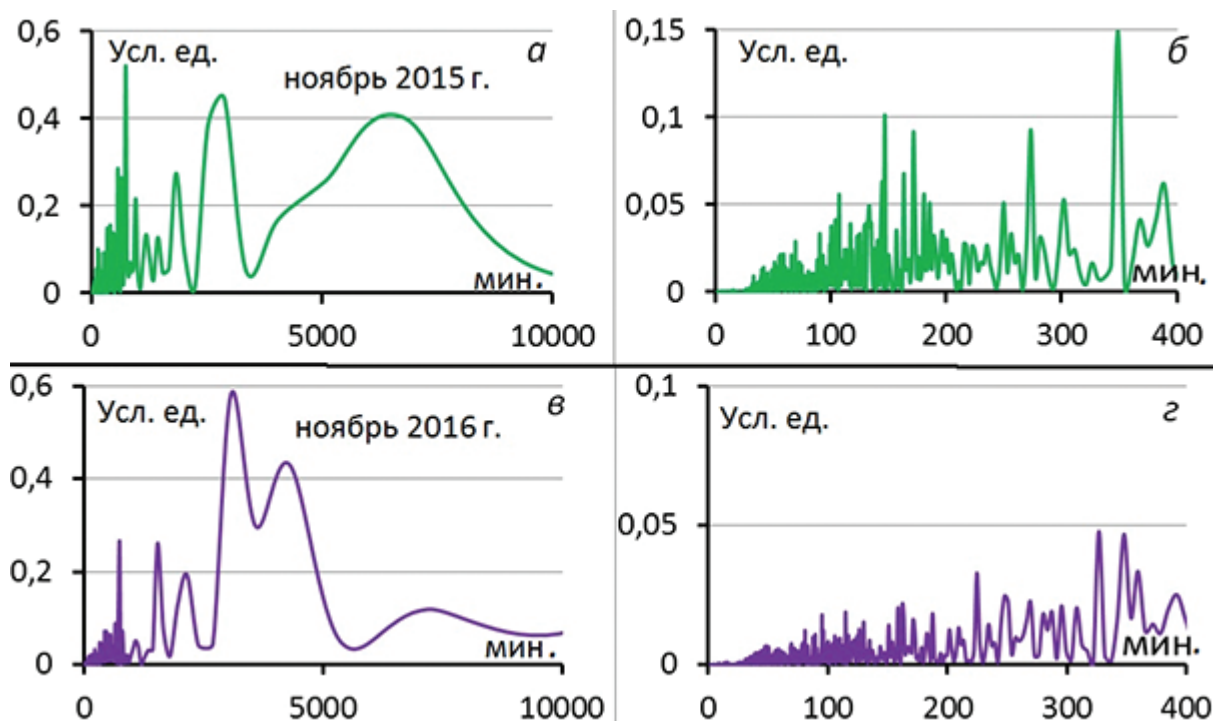


Рис. 6. Сравнение спектральных характеристик аномальных колебаний и обычных неприливных вариаций силы тяжести (12 ноября—26 ноября 2015 г.) с сейсмическими пульсациями и магнитотеллурическими данными: а — спектральная плотность аномальных колебаний неприливных вариаций силы тяжести 12—26 ноября 2015 г.; б — спектральная плотность аномальных колебаний неприливных вариаций силы тяжести 12—26 ноября 2015 г. в интервале 0—400 мин.; в — спектральная плотность неприливных вариаций силы тяжести 2—17 ноября 2016 г.; г — спектральная плотность неприливных вариаций силы тяжести 2—17 ноября 2016 г. в интервале 0—400 мин.

точников собственные колебания Земли усиливаются. Необходимо отметить, что собственные колебания усиливаются также и от землетрясений [7].

Обратим внимание на период аномальных колебаний с длительностью 349 мин. Для обычных неприливных вариаций этот период проявляется плохо, а иногда отсутствует [7]. Данный период устанавливается достаточно надёжно при землетрясениях большой амплитуды. Следовательно, можно утверждать, что во время аномальных колебаний удары по магнитосфере Земли были достаточно сильными.

Наконец, приведём еще одно сравнение для аномальных и неаномальных неприливных вариаций силы тяжести: графики среднеквадратичных погрешностей измерений (рис. 7). В программном обеспечении гравиметра предусмотрено определение среднеквадратической погрешности измерений в интервале дискретизации. В нашем случае среднеквадратическая погрешность определена для одномоментного интервала, которая обычно не превышает $\pm 0,01$ мГал (рис. 7, б). Погрешность может возрасти на порядок и более в случае землетрясений, но их время ограничивается несколькими минутами и четко идентифицируется. Амплитуда среднеквадратической погрешности в ноябре 2015 г. (рис. 7, а) вдвое превышает погрешность в остальные месяцы 2015 г. и в предыдущие годы.

Какова же возможная природа рассмотренных аномальных колебаний неприливных вариаций силы тяжести? Являются ли источники колебаний внутриземными или внешними? Можно утверждать, что источники колебаний внешние. Дело в том, что под действием Солнца и Луны земная кора деформируется примерно с полусуточным периодом, вызывая подъёмы и опускания суши. Амплитуды лунно-солнечных вариаций силы тяжести и аномальных колебаний сопоставимы между собой. Тогда, если аномальные колебания являются внутрикоровыми, наложение колебаний должно привести к катастрофическим последствиям на поверхности Земли. Кроме того, периоды аномальных колебаний находятся в пределах от 1 до 5 ч, что должно тоже вызывать соответствующее поведение земной коры.

Если источник колебаний расположен вне Земли, то источником колебаний могут быть все возможные излучения в космосе. Ведь совместное притяжение всех планет составляет очень малую величину от амплитуды лунно-солнечных вариаций силы тяжести. Просмотр астрономических событий за ноябрь месяц показал, что практически с началом и окончанием аномальных колебаний неприливных вариаций совпал период так называемых мощных всплесков радиоизлучений [8, 9], время существования которых составляет несколько миллисекунд. Забегая несколько вперед, отме-

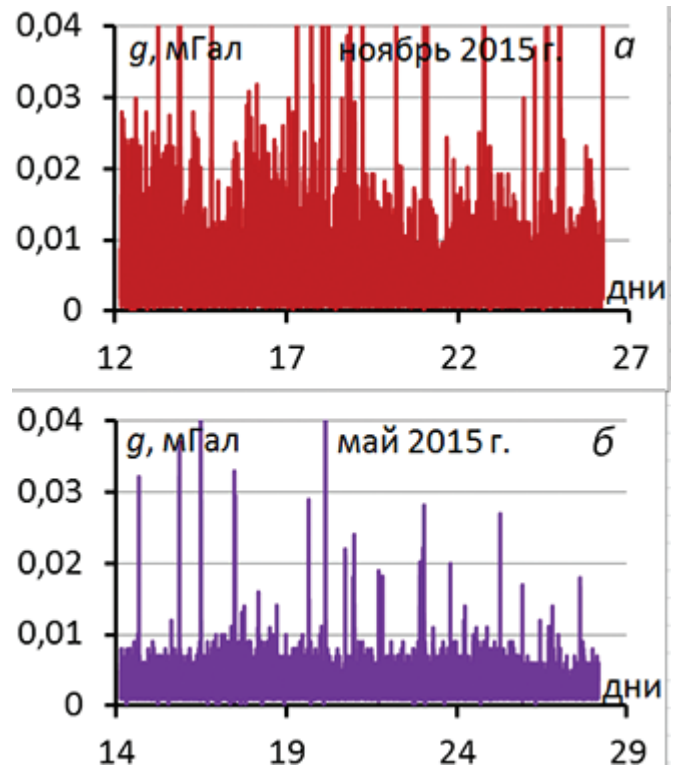


Рис. 7. Сравнение среднеквадратических погрешностей измерения аномальных колебаний и обычных неприливных вариаций силы тяжести: а — среднеквадратическая погрешность измерения аномальных колебаний неприливных вариаций силы тяжести 12–26 ноября 2015 г.; б — среднеквадратическая погрешность измерения неприливных вариаций силы тяжести 14–29 мая 2015 г.

тим, что чувствительность датчика гравиметра такова, что он не должен реагировать на указанные радиоимпульсы. Возможно, лишь очень чувствительные сейсмографы смогут зафиксировать радиоимпульсы.

Впервые о существовании таинственных всплесков радиоизлучения (fast radio-burst, FRB) заговорили в 2007 г., когда были открыты группой профессора Дункана Лоримера (Duncan R. Lorimer) из университета Западной Вирджинии [8, 9]. Это произошло случайно, когда учёные проанализировали данные наблюдений за 2001 г. с австралийского радиотелескопа Parkes Государственного объединения научных и прикладных исследований [8]. В последующие годы учёным удалось найти следы еще девяти подобных всплесков. В октябре 2015 г. стало известно о 20 всплесках, а вот в течение ноября 2015 г. произошло множество всплесков радиоизлучения, когда за 1 ч. фиксировалось по несколько всплесков. На рис. 3, в показаны радиоимпульсы, причём каждой линии отвечают не менее пяти. Сами радиовсплески по мощности на несколько порядков превышают сигналы от пульсаров, длительность всплесков составляет несколько миллисекунд.

Учёные обнаружили, что быстрые радиовсплески сопровождаются гамма-вспышками, энергия

которых может в миллиард раз превышать её величину для радиодиапазона. Длительность гамма-вспышек от 2 до 6 с. Это обстоятельство позволяет сравнить сигнал со взрывом сверхновой звезды. Если бы такой объект располагался недалеко от Земли, он бы уничтожил жизнь на планете. Радиовсплески объяснялись слиянием нейтронных звезд, коллапсом чёрных дыр, рождением кварковой звезды и другим, но ни одна из гипотез не удовлетворяет полученным фактам. Конечно, не обошлось без того, что радиовсплески связали с сигналами внеземных цивилизаций из-за необъяснимой периодичности в их структуре. Как объясняет П. Шольц [9], большинство FRB-всплесков было открыто телескопами, которые «смотрят» на очень широкую часть ночного неба, из-за чего их точное положение крайне сложно определить даже при наличии повторяющегося сигнала. В 2016 г. было выявлено несколько загадочных мощных

вспышек, но в рентгеновском диапазоне, природа которых тоже неясна.

Конечно, радиоимпульсы Лоримера не являются причиной появления аномальных колебаний неприливных вариаций. Скорее всего, радиоимпульсы являются индикаторами мощных потоков заряженных частиц в космосе, которые сталкиваются с магнитосферой Земли и в результате удара вызывают определённые изменения силы тяжести на Земле. Так это или нет, но аномальные колебания вариаций, наблюдавшиеся в ноябре 2015 г., практически исключают проведение высокоточных гравиметрических съёмок. Только непрерывные стационарные наблюдения вариаций с разработкой соответствующих методик измерений могут дать возможность выполнения качественных съёмок. Наверное, аномальное изменение неприливных вариаций будет интересным для астрономических наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.В. Пульсации неприливных вариаций силы тяжести // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 5. С. 54–57.
2. Антонов Ю.В. Возможная природа пульсаций неприливных вариаций силы тяжести // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2015. № 4. С. 5–13.
3. Антонов Ю.В., Рыбин А.К., Матюков В.Е. Возможная природа изменения интенсивности магнитотеллурического поля во время пульсаций неприливных вариаций силы тяжести // Изв. вузов. Геология и разведка. 2016. № 2. С. 39–43.
4. Антонов Ю.В., Сизаск И.А. Синхронные пульсации в неприливных вариациях гравитационного и сейсмического полей // Изв. вузов. Геология и разведка. 2015. № 5. С. 46–52.
5. Веселов К.Е. Гравиметрическая съемка / М.: Недра, 1986. 312 с.
6. Воронцов С.И., Жарков В.Н. Собственные колебания Солнца и планет гигантов // УФН. 1981. Т. 134. Вып. 4. С. 675–710.
7. Собственные колебания Земли. М.: Мир, 1964. 316 с.
8. Petroff E., Bailes M., Barr E.D., Barsdell B.R., Bhat N.D.R., Bian F., Burke-Spolaor S., Caleb M., Champion D., Chandra P., Da Costa G., Delvaux C., Flynn C., Gehrels N., Greiner J., Jameson A., Johnston S., Kasliwal M.M., Keane E.F., Keller S., Kocz J., Kramer M., Leloudas G., Malesani D., Mulchaey J.S., Ng C., Ofek E.O., Perley D.A., Possenti A., Schmidt B.P., Shen Yue, Stappers B., Tisserand P., van Straten W., Wolf C. Box 218, Hawthorn, VIC 3122, Australia. A real-time fast radio burst: polarization detection and multiwave length follow-up / arXiv:1412.0342v1 [astro-ph.HE] 1 Dec 2014. Mon. Not. R. Astron. Soc. 000,000–000 (0000) Printed 2 December 2014 (MN L A T E X style file v2.2) / [Электронный ресурс <https://arxiv.org/abs/1412.0342>] — дата обращения январь 2017 г.
9. Scholz P., Spitler L.G., Hessels J.W.T., Chatterjee S., Cordes J.M., Kaspi V.M., Wharton R.S., Bassa C.G., Bogdanov S., Camilo F., Crawford F., Deneva J., van Leeuwen J., Lynch R., Madsen E.C., McLaughlin M.A., Mickaliger M., Parent E., Patel C., Ransom S.M., Seymour A., Stairs I.H., Stappers B.W. & Tendulkar S.P. The repeating fast radio burst FRB 121102: multi-wavelength observations and additional bursts/Draft version March 30, 2016. Preprint typeset using L A T E X style emulateapj v. 5/2/11. Dept. of Physics and McGill Space Institute, McGill Univ., Montreal, QC H3A 2T8, Canada / [Электронный ресурс <https://worldwidescience.org/topicpages/r/range+fast+burst.html>] — дата обращения январь 2017 г.