

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ
GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

УДК 550.831+550.348

СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫЕ ПУЛЬСАЦИИ
НА КОНТИНЕНТАХ ЗЕМНОГО ШАРА*

Ю.В. АНТОНОВ, И.А. ПОНОМАРЕНКО

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

Гравиметрические и сейсмические пульсации синхронно совпадают во времени между собой. Указанное обстоятельство синхронности ранее проанализировано для Евразийского континента, где имеются данные по сейсмическим и гравиметрическим наблюдениям. Оказалось, что пульсации гравиметрического и сейсмического полей могут возникать не только под действием метеорных потоков, но и за счёт процессов, происходящих в атмосфере. Пульсации, связанные с погодой, в основном приурочены к морской части Евразии и прилегающей к ней прибрежной части континента. Внутриконтинентальные пульсации, а их число на порядок меньше, чем в морских акваториях, наблюдаются по всему земному шару и синхронны между собой. Вероятно, причиной образования внутриконтинентальных пульсаций являются удары метеорных потоков по атмосфере Земли, которые вызывают в результате колебания атмосферы. Пульсации в океане и прибрежных зонах создаются за счёт циклонических вихрей, которые являются продуктом неравномерного нагревания поверхности Земли.

Ключевые слова: пульсации; вертикальная составляющая сейсмического поля; лунно-солнечные вариации силы тяжести; неприливные вариации силы тяжести; метеорные потоки; сейсмический шум.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-4-78-84

SEISMOGRAVITATIONAL PULSATIONS ON THE CONTINENTS OF THE EARTH

YU.V. ANTONOV, I.A. PONOMARENKO

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

Gravimetric and seismic pulsations coincide in time with each other. This synchrony circumstance was previously analyzed for the Eurasian continent, where the data on seismic and gravimetric observations are available. The pulsations of the gravimetric and seismic fields have been appeared to be able to occur not only under the action of meteor showers, but also due to the processes occurring in the atmosphere. Weather-related pulsations are mainly confined to the maritime part of Eurasia and the adjacent coastal part of the continent. Intercontinental pulsations, and their number is much less than in the sea, are observed around the globe and are synchronous with each other. It is likely that the cause of the formation of intercontinental pulsations is the impact of meteor showers on the Earth's atmosphere, creating as a result of fluctuations in the atmosphere. Ripples in the ocean and coastal zones are created by cyclonic vortices, which are the product of the uneven heating of the Earth's surface.

Keywords: pulsation; vertical component of the seismic field; lunar-solar variations in gravity; non-tidal variations of gravity; coronal mass; meteor showers; the seismic noise.

Пульсации неприливных вариаций силы тяжести были обнаружены в 2014 г. [2]. Последующие исследования [2—7] показали, что измеренные пульсации силы тяжести в различных пунктах Евразийского континента по времени совпадают между собой. Такие результаты измерения пульсаций представлены в Киргизстане (г. Бишкек), пгт. Арти (Свердловская обл.) и г. Перми. Также обнаружено [7], что пульсации сейсмического поля в Воронеже (ст. Сторожевое) также совпадают с пульсациями силы тяжести в Бишкеке. Такое совпадение обеспечивается тем, что в гравиметрах и сейсмографах используется один и тот же датчик — маятник Голицына. Сила тяжести пропорциональна растяжению пружины маятника, а скорость растяжения соответствует сейсмическому колебанию [7]. Поэтому при одновременных мониторинговых измерениях силы тяжести и сейсмических колебаний последние по отношению к силе тяжести являются аналогом производной по времени. Дальнейшее исследование сейсмических данных в прибрежной юго-восточной части Евразийского континента показало [4, 6], что гравиметрическим пульсациям внутри континента соответствуют сейсмические пульсации, но большая часть прибрежных сейсмических пульсаций не находит своего соответствия внутри континента. Оказалось, что прибрежные пульсации вызваны атмосферными процессами, обусловленными циклонами, тайфунами и т. д.

В связи с этим было решено изучить дополнительно вариации гравитационного и сейсмического

полей внутри континентов Земли. Приводимые в статье результаты основаны на обработке материалов сейсмических наблюдений Калифорнийского университета в Сан-Диего (УКСД) [9]. Преимущественно использовались сейсмические измерения, так как гравиметры применяются крайне редко. При этом надо отметить, что качество наблюдаемого материала не всегда является высоким. Прежде всего это обусловлено техническими помехами. Вначале, как правило, после создания мониторинговой станции идут измерения высокого качества. Затем по прошествии нескольких лет, видимо, из-за развития инфраструктуры и обустройства окружающей местности качество резко снижается.

Сейсмические записи часто зависят от используемого типа аппаратуры. Кроме того, на показания гравиметров и сейсмографов оказывают влияние не только землетрясения, но и другие геодинамические процессы, происходящие внутри Земли, в атмосфере и ближайшем космосе. Влияние ближайшего космоса прежде всего определяется притяжением Луны и Солнца. Какие бы точные формулы при вычислении лунно-солнечных вариаций силы тяжести не использовались, все равно остается ощущение неполного учёта поправок на притяжение Луны и Солнца. Влияние притяжения Луны и Солнца хорошо видно на примере измерений сейсмических колебаний прибором STS — 1H/VBB (рис. 1) на станции BFO в Германии. Наблюдённые измерения сейсмического поля (рис. 1, а)

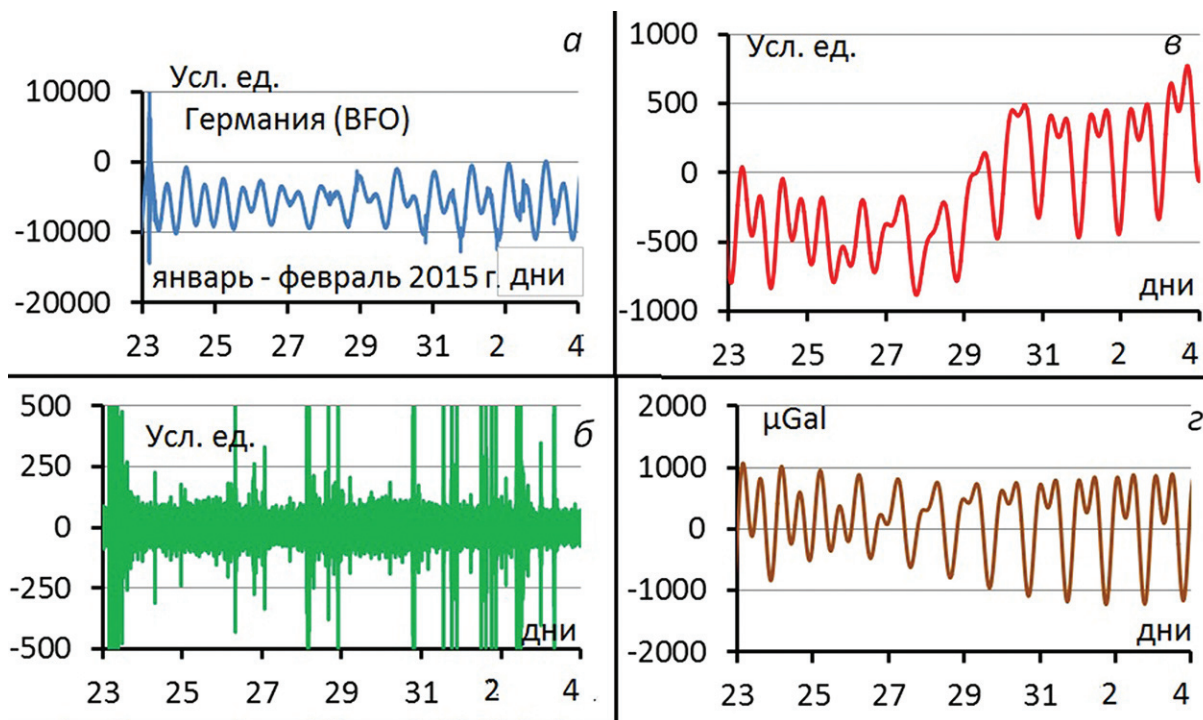


Рис. 1. Пример сейсмической записи прибором STS — 1H/VBB на станции BFO (Германия): а — исходная сейсмическая запись; б — остаточная аномалия неприливной вариации в результате осреднения; в — результат интегрирования исходной сейсмической записи; г — расчётные значения лунно-солнечных вариаций силы тяжести (формула Тиммена-Венцеля)

полностью повторяют градиент лунно-солнечных вариаций. Значения градиента более чем на порядок превышают значения неприливных вариаций, кривая наблюдений внешне выглядит почти гладкой. Была предпринята попытка выделить неприливно-вариации с помощью метода осреднения (рис. 1, б). В [6] показано, что использование метода осреднения позволяет по исходным измерениям сразу же получить неприливную пульсацию, минуя операции учёта притяжения Луны и Солнца, смещения нуля-пункта и вычисления остаточной неприливной вариации. На полученной остаточной вариации с помощью осреднения (рис. 1, б) чётко выделяется пульсация, хотя сейсмическая обстановка, судя по изрезанности графика, довольно нестабильная. Видимо, это обусловлено произошедшим землетрясением на севере Италии (М—4,4) 23 января 2015 г. и целым рядом других мелких землетрясений (М 2—4) в третьей декаде января в Средиземноморье. Катастрофические землетрясения в Тихом океане (о. Вануату), произошедшие 23 января (М 7) и 30 января 2015 г. (М 6), вряд ли могли оказать существенное влияние на сейсмическую обстановку в Европе.

На рис.1, а, видим, что исходные измерения по форме напоминают кривую градиента лунно-солнечных вариаций силы тяжести. Воспользуемся этим фактом [5] и проинтегрируем по времени исходные измерения. В результате кривая интегрирования (рис. 1, в) напоминает теоретически рассчитанные по формуле Тиммена и Венцеля [8] лунно-солнечные вариации (рис. 1, г). Искажения в интегрированной кривой обусловлены сейсмической обстановкой. Например, для первой половины января 2015 г., когда сейсмическая обстановка была несколько спокойнее, приведены результаты обработки измерений гравиметрических данных на станции ВФО (рис. 2). Внешне исходные данные напоминают лунно-солнечные вариации силы тяжести (рис. 2, а). На остаточной аномалии после осреднения чётко выделяются пульсации силы тяжести (рис. 2, б), которые полностью совпадают с пульсациями в Бишкеке (рис. 2, в).

Таким образом, Луна и Солнце непосредственно влияют на гравиметрические и сейсмические датчики. Это влияние надо исключать. Для всех типов гравиметров это делается прямым вычислением лунно-солнечных вариаций силы тяжести. А вот различные типы сейсмографов по-разному реагируют на притяжение Луны и Солнца. В приведённом выше примере с прибором STS — 1Н/VBB (рис. 1) ясно и чётко просматривается влияние Луны и Солнца. А что делать, если такого влияния не видно. Представим, что сейсмических колебаний нет. Маятник тем не менее под действием Луны и Солнца перемещается в пространстве. Величина этого перемещения может быть намного меньше амплитуды лунно-солнечных вариаций, но

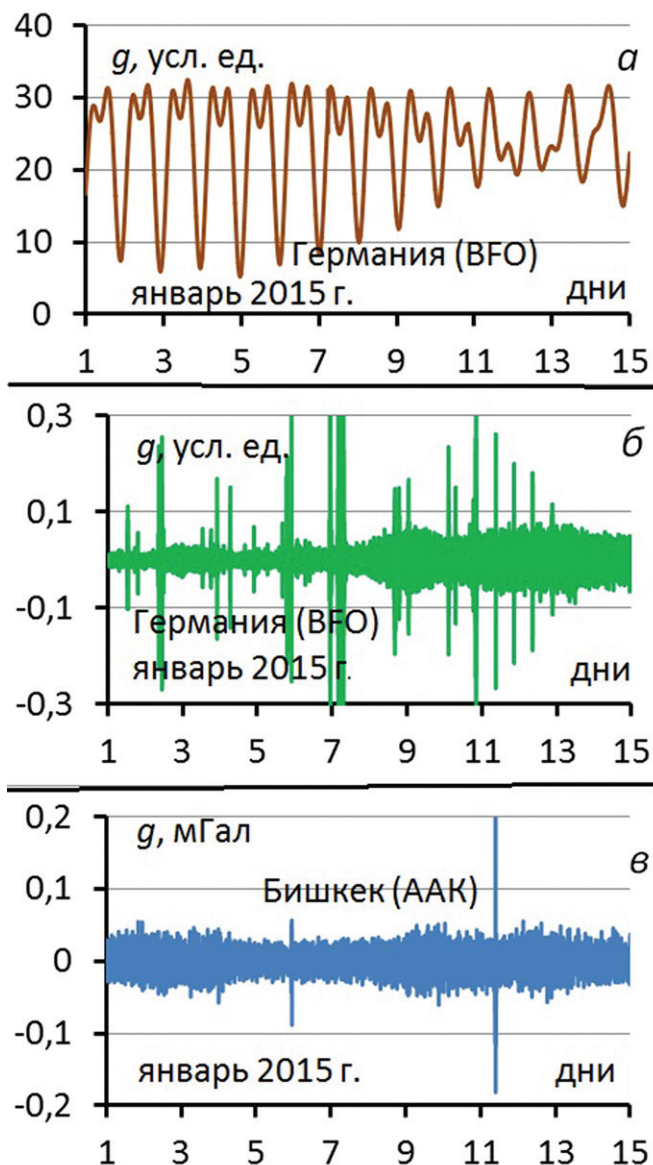


Рис. 2. Сравнение неприливных пульсаций силы тяжести в Киргизии (ААК) и Германии (ВФО): а — исходная запись переменного поля силы тяжести; б — пульсации силы тяжести в Германии (остаточная аномалия в результате осреднения); в — пульсация силы тяжести в Киргизии (остаточная аномалия в результате осреднения)

значимой величиной, например, при вычислении неприливных вариаций. В целом для сравнения сейсмических пульсаций на различных континентах с гравиметрическими пульсациями в Евразии старались брать данные с сейсмографов типа Trilium [9].

Поскольку данных для Америки, Африки и Австралии гравиметрических мониторинговых наблюдений не удалось найти в открытом доступе, то далее рассмотрим сравнение сейсмических пульсаций в Америке, Африке и Австралии с гравиметрическими пульсациями в Евразии. В частности, на рис. 3, а представлена сейсмическая пульсация в Канаде (FFC), которая достаточно удовлетворительно совпадает с гравиметрическими пульсациями в Киргизии (ААК) и России (АТИ).

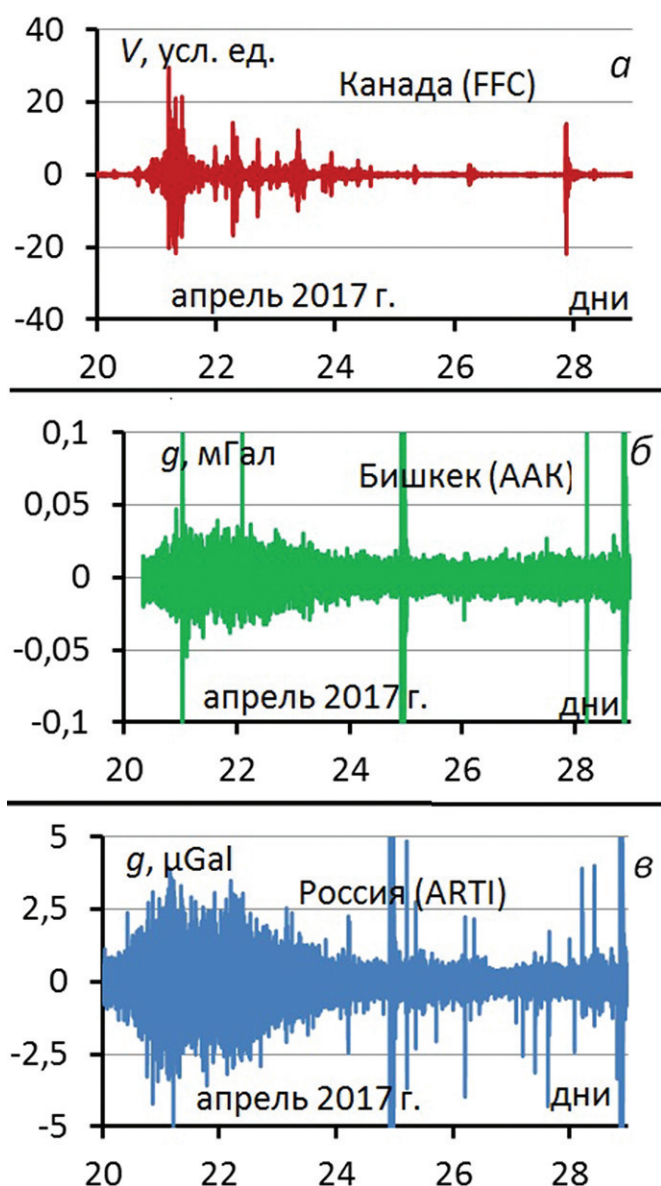


Рис. 3. Сравнение неприливных пульсаций силы тяжести в Киргизии (ААК) и России (АТИ) с сейсмическими пульсациями в Канаде 20–29 января 2017 г.: а — сейсмическая пульсация в Канаде (FFC); б — пульсация силы тяжести в Киргизии (ААК); в — пульсация силы тяжести в России (АТИ)

Примерно такая же картина наблюдалась в марте–апреле 2017 г. для той же станции FFC в Канаде при сравнении сейсмических и гравиметрических пульсаций (рис. 4). Отметим любопытную деталь, 29 марта 2017 г. в районе Берингова моря у Камчатки произошло землетрясение с магнитудой 6,6. Землетрясение отмечено этого числа в Бишкеке (ААК) и в Перми (рис. 4, б, в.), а в Канаде (рис. 4, а) — 30 марта. Это досадная ошибка, наверное, произошла при смене дат, на что надо обращать внимание при обработке наблюдений. Если убрать землетрясение и переместить даты на одни сутки на рис. 4, а, то сравнение сейсмических и гравиметрических пульсаций становится похожим на рис. 3.

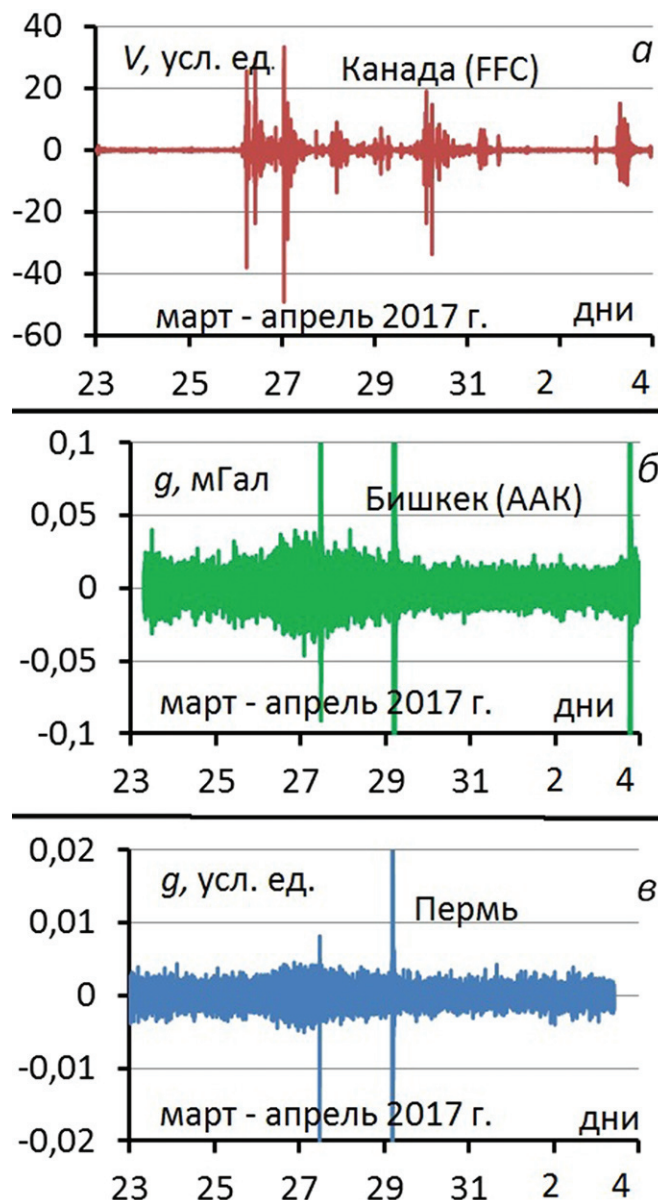


Рис. 4. Сравнение неприливных пульсаций силы тяжести в Киргизии (ААК) и России (г. Пермь) с сейсмическими пульсациями в Канаде 20 марта — 4 апреля 2017 г.: а — сейсмическая пульсация в Канаде (FFC); б — пульсация силы тяжести в Киргизии (ААК); в — пульсация силы тяжести в России (г. Пермь)

Далее рассмотрим сравнение пульсаций на Африканском континенте в январе 2015 г. (рис. 5). К сожалению, мониторинговая станция MBAR попадает в зону Восточно-Африканского разлома и находится рядом с оз. Виктория, что явно способствует влиянию местных землетрясений и атмосферных фронтов [4, 6] над озером на показания сейсмометров. Тем не менее имеется сходство, может быть не очень четкое, сейсмических пульсаций с гравиметрическими пульсациями в Бишкеке. Примерно такое же совпадение пульсаций в январе 2014 г. наблюдалось на станциях WRAB в Австралии и ААК в Киргизии (рис. 6). Но надо отметить, что качество наблюдений, по данным [9], является проблемным. Других станций внутри континента

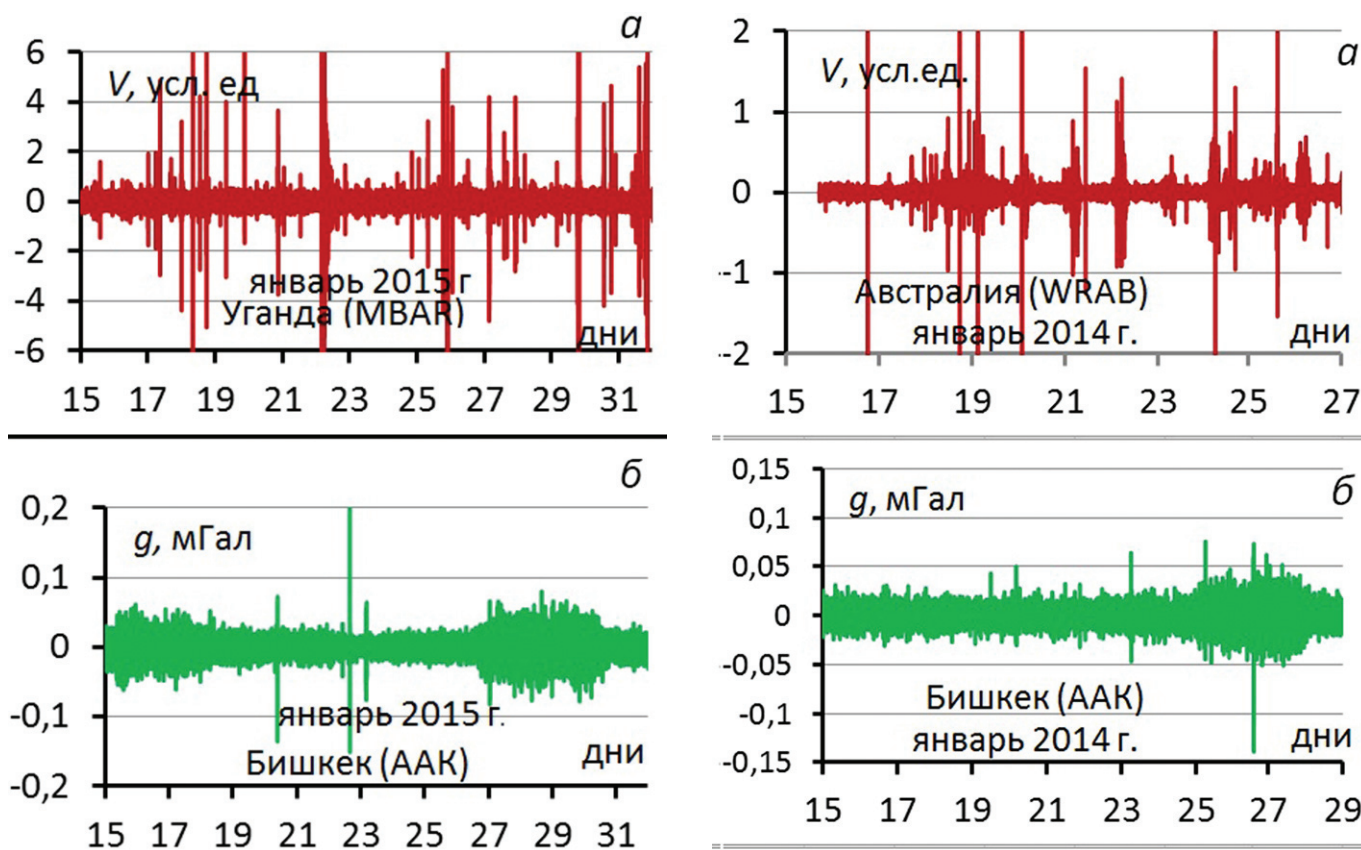


Рис. 5. Сравнение неприливных пульсаций силы тяжести в Киргизии (ААК) с сейсмическими пульсациями в Уганде (МВАР): а — сейсмическая пульсация в Уганде (МВАР); б — пульсация силы тяжести в Киргизии (ААК)

нет. Также непонятно отсутствие гравиметрической пульсации 17–19 января 2014 г. на станции ААК Киргизии. Пульсации из года в год повторяются. Если сравнивать пульсации в Бишкеке за 2015 и 2014 гг. (рис. 5, б и 6, б), то видим отсутствие пульсации за 17–19 января 2014 г. Среднеквадратическая погрешность измерений (6, в), как показано в [1, 2], повторяет пульсации. Действительно, на данном интервале повышенная погрешность измерений (рис. 6, в). Кстати, сейсмические пульсации на станциях МВАР и WRAB более или менее совпадают между собой, хотя они произошли соответственно в январе 2015 и 2014 гг., что ещё раз подтверждает периодичность повторения пульсаций.

Таким образом, пульсации сейсмического и гравиметрического полей внутри континентов на земном шаре происходят одновременно. Причиной этому, как отмечено в [2–7], служат удары метеорных потоков по атмосфере. Вернемся к рис. 3. Судя по форме пульсаций — резкое возрастание и постепенное понижение амплитуды, можно предположить [1–7], что удар метеорного потока по атмосфере Земли вызывает эти пульсации. Метеорные потоки имеют размеры от нескольких до нескольких десятков миллионов километров. Пульсации длятся несколько суток при скорости Земли 30 км/с

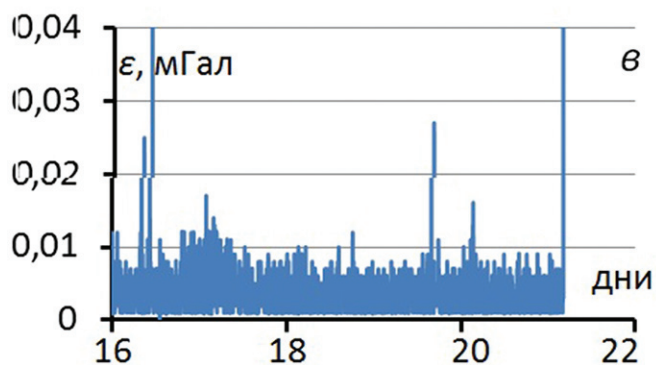


Рис. 6. Сравнение неприливных пульсаций силы тяжести в Киргизии (ААК) с сейсмическими пульсациями в Австралии (WRAB): а — сейсмическая пульсация в Австралии (WRAB); б — пульсация силы тяжести в Киргизии (ААК); в — среднеквадратическая погрешность измерений силы тяжести в Киргизии (ААК)

и до 100 км/с для метеорных потоков в космическом пространстве. Удары метеорного потока захватывают всю Землю разом, поэтому отсюда следует, что пульсации должны проявляться в целом для всей Земли. Кроме того, отметим, что собственные колебания атмосферы после удара метеорного потока по атмосфере не меняют своей частоты, а лишь увеличивают амплитуду колебаний. На рис. 7 представлены периодограммы неприливных вариаций силы тяжести при отсутствии (рис. 7, б) и наличии (рис. 7, г) пульсаций. Наблюдения для сравнения выбраны для момента, когда не было никаких помех. Амплитуды вариаций различаются примерно в два раза и амплитуды периодограмм тоже.

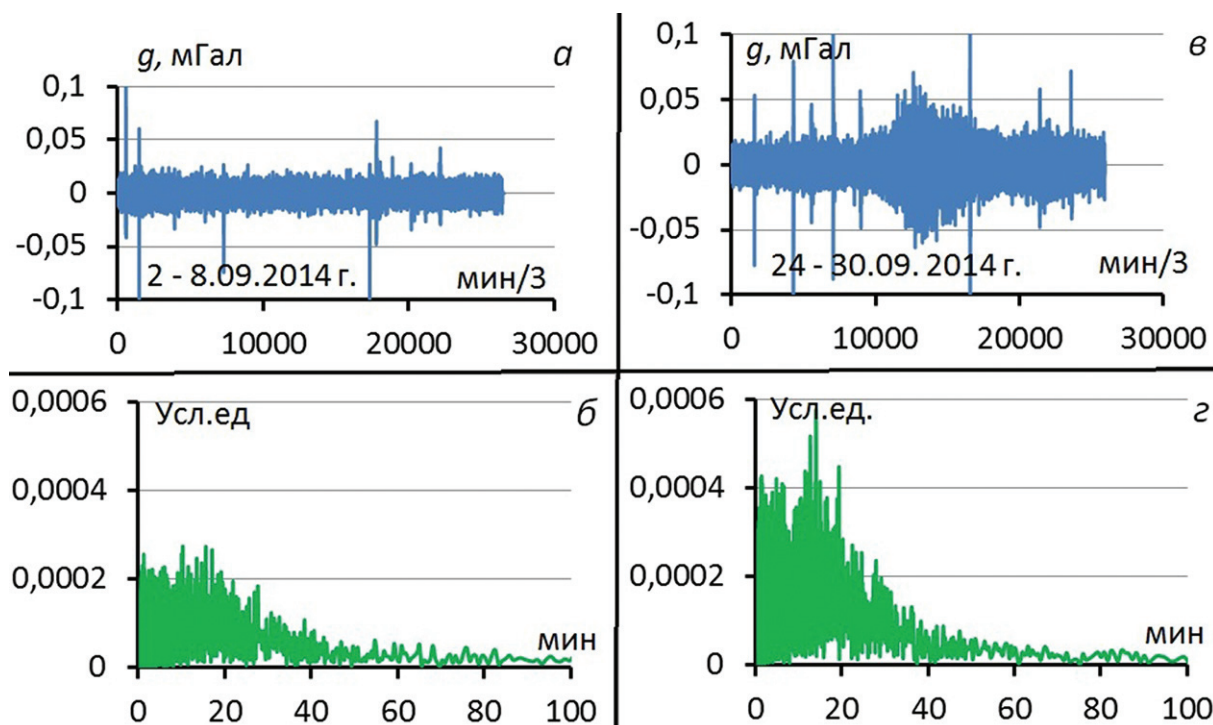


Рис. 7. Сравнение спектров при наличии и отсутствии пульсаций силы тяжести в Киргизии (ААК): а — исходная запись неприливной вариации силы тяжести при отсутствии пульсаций; б — периодограмма при отсутствии пульсаций; в — исходная запись неприливной вариации силы тяжести при наличии пульсаций; г — периодограмма при наличии пульсаций

Выводы

Таким образом, пульсации сейсмического и гравитационного полей имеют глобальное распространение для всей Земли. На суше пульсации в большей части своей вызваны ударами метеорных потоков по атмосфере. На морских и океанических

акваториях пульсации тоже связаны с колебаниями в атмосфере, но которые вызваны переносом тепла на поверхности Земли, и ограничены по площади. Поэтому при изучении сейсмического шума необходимо учитывать данное обстоятельство.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Д.В., Бычков С.Г. Возможная природа пульсаций гравитационного поля // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Казань: Казанский университет, 2018. С. 16—18.
- Антонов Ю.В. Пульсации неприливных вариаций силы тяжести // Известия вузов. Геология и разведка. 2014. № 5. С. 54—57.
- Антонов Ю.В. Разделение неприливных вариаций силы тяжести на основе спектрального анализа и метода осреднения // Вестн. Воронеж, гос. ун-та. Сер. Геология. 2016. Вып. 2. С. 100—106.
- Антонов Ю.В. Влияние атмосферного фронта на показания гравиметров и сейсмометров // Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 4. С. 66—71.
- Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сравнение приливных вариаций силы тяжести и вертикальной составляющей сейсмографа // Геофизика. 2013. № 2. С. 27—31.
- Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сейсмогравитационные пульсации на Евразийском континенте // Известия вузов. Геология и разведка. 2019. № 1. С. 70—75.
- Антонов Ю.В., Сизаск И.А. Синхронные пульсации в неприливных вариациях гравитационного и сейсмического полей // Известия вузов. Геология и разведка. 2015. № 5. С. 46—52.
- Timmen L., Wenzel H.-G. Worldwide synthetic gravity tide parameters / International Association of Geodesy symposia. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag. 1996. Vol. 113. P. 92—101.
- Yandex.ru // https; IRIS.EDU/, дата обращения — 28.05.2019.

REFERENCES

- Abramov D.V., Bychkov S.G. Possible nature of gravitational field pulsations. *Problems of theory and practice of geological interpretation of geophysical fields*. Kazan, Kazanskiy university Publ., 2018, pp. 16—18. (In Russian).
- Antonov Y.V. Pulsations of non-tidal variations of gravity. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2014, no 5, pp. 54—57. (In Russian).
- Antonov Y.V. Separation of non-tidal gravity variations based on spectral analysis and averaging method, *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*, 2013, no. 2, pp. 100—106. (In Russian).

4. Antonov Y.V. The influence of atmospheric front on the readings of the gravimeters and seismometers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2017, no 4, pp. 66—71. (In Russian).
5. Antonov Y.V., Antonova I.Y. Comparison of tidal variations of gravity and vertical component of the seismograph, *Geofizika*, 2016, no 2, pp. 27—31. (In Russian).
6. Antonov Y.V., Antonova I.Y. Seismic-induced gravitational pulsations on the Eurasian continent. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2019, no 1, pp. 70—75. (In Russian).
7. Antonov Y.V., Sizask I.A. Synchronous pulsations in non-tidal variations of gravitational and seismic fields. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2015, no 5, pp. 46—52. (In Russian).
8. Timmen L., Wenzel H.-G Worldwide synthetic gravity tide parameters / International Association of Geodesy symposia. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag. 1996. Vol. 113. pp. 92—101.
9. Yandex.ru// <https://IRIS.EDU/>, дата обращения — 28.05.2019.