

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.831 + 550.348

СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫЕ ПУЛЬСАЦИИ НА ЕВРАЗИЙСКОМ КОНТИНЕНТЕ

Ю.В. АНТОНОВ, И.Ю. АНТОНОВА

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

Впервые пульсации силы тяжести были обнаружены при обработке стационарных наблюдений на Геодинамическом полигоне РАН в г. Бишкеке (2014 г.). Затем аналогичные пульсации были выявлены в сейсмических стационарных наблюдениях в г. Воронеже, которые синхронно совпадали с гравиметрическими пульсациями в г. Бишкеке. Позже обнаружены пульсации силы тяжести на станциях Арти, в Перми и во Владивостоке. Сейсмические пульсации также установлены в Юго-Восточной Азии. В прибрежных зонах и в океане дополнительно возникают пульсации за счёт атмосферных процессов (тайфуны, циклоны и т. д.). Пульсации неприливных вариаций силы тяжести и сейсмического поля носят глобальный характер.

Ключевые слова: лунно-солнечные вариации силы тяжести; неприливные вариации силы тяжести; корональные выбросы масс; метеорные потоки; пульсации; сейсмический шум.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-1-60-66

SEISMIC-INDUCED GRAVITATIONAL PULSATIONS ON THE EURASIAN CONTINENT

YU.V. ANTONOV, I.YU. ANTONOVA

*Voronezh state University
University square, 1, Voronezh 394006, Russia
e-mail: yuriyantonov@yandex.ru*

For the first time, gravity pulsations were detected during the processing of stationary observations at the Geodynamic range of RAS in Bishkek (2014). Then, similar surges were detected in stationary seismic observations in the city of Voronezh, which simultaneously coincided with the gravimetric fluctuations in Bishkek. Later, gravity pulsations were detected at Artie, Perm and Vladivostok stations. Seismic ripples are also found in Southeast Asia. In coastal zones and in the ocean, additional pulsations occur due to atmospheric processes (typhoons, cyclones, etc.). Pulsations of non-tidal variations of gravity and seismic fields are global.

Keywords: lunar-solar variations of gravity; non-tidal variations of gravity; coronal mass ejections; meteor showers; pulsations; seismic noise.

Впервые неприливные пульсации силы тяжести были обнаружены при обработке стационарных гравиметрических наблюдений на Геодинамическом полигоне РАН в г. Бишкеке (2014 г.). Получены пульсации были путём исключения из гравиметрических наблюдений лунно-солнечных вариаций силы тяжести и смещения нуля-пункта [2, 3]. Проявляются пульсации в виде увеличения амплитуды

колебаний гравитационного поля продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток.

Позже аналогичные пульсации были выявлены в сейсмических стационарных наблюдениях в Воронеже (Геофизическая служба РФ, 2015 г.) [6], которые синхронны гравиметрическими пульсациям в г. Бишкеке. Это совпадение не случайное. Дело в том, что для измерений гравитационного и сей-

смического полей служит один и тот же датчик — вертикальный сейсмограф Голицына.

При исследовании переменного гравитационного поля прежде всего обращают внимание на лунно-солнечные вариации силы тяжести, которые образуют волнообразный пакет колебаний. Кроме лунно-солнечных вариаций силы тяжести существуют другие гравитационные колебания различных амплитуд и периодов, которые образуются в недрах Земли, ближнем и дальнем космосе. Одним из таких проявлений могут служить пульсации гравитационного поля, выявленные автором [2, 6] при анализе неприливых аномалий силы тяжести. Попытаемся объяснить природу выявленных пульсаций силы тяжести.

Исходным материалом для данной статьи послужили мониторинговые наблюдения силы тяжести на Геодинамическом полигоне РАН в г. Бишкек (Киргизстан) с помощью гравиметра SG—5 Autograv. Прибор установлен в штольне с постоянной температурой около 8° С примерно в 30 км от города, так что помехи техногенного характера практически отсутствуют. Привлечены мониторинговые измерения силы тяжести во Владивостоке (мыс Шульца) и станции Арти (г. Екатеринбург), где используются приливные гравиметры gPhone (Micro — g — LaCoste). Гравиметрический пункт, мыс Шульца расположен в зоне перехода от азиатского континента к Тихому океану, на территории Морской экспериментальной станции Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН (мыс Шульца, залив Петра Великого, Японское море). Пункт Арти

расположен в центре Евразийского континента (Урал, г. Екатеринбург). Использованы также сейсмические наблюдения в Воронеже (пункты Сторожевое и Галичья Гора ГС РАН в Центрально-Черноземном районе). Указанные пункты находятся в центре Русской платформы, где практически отсутствуют помехи, присущие тектонически активным регионам (города Бишкек и Владивосток). Для сравнения — в Воронеже выбраны только сейсмические данные из-за того, что мониторинговых гравиметрических данных в Воронеже нет [3]. Кроме того, привлечены сейсмические данные по Юго-Восточной Азии^{1,2,3}.

Наблюдённые значения силы тяжести представляют собой лунно-солнечные вариации, осложнённые региональным фоном (чаще линейным). Последний обусловлен смещением нуля-пункта прибора, а также влиянием внешних факторов [2]. Чтобы получить неприливную вариацию силы тяжести необходимо удалить лунно-солнечные вариации и фон. После соответствующей обработки [2—5] наблюдённых вариаций силы тяжести получены так называемые неприливая вариация силы тяжести. Неприливные вариации (рис. 1) представляют собой кривую высокочастотных колебаний, которые в свою очередь модулируются более длинно-периодными колебаниями.

Для вычисления пульсаций в данном конкретном случае использовалось осреднение. Отметим также, что при применении метода осреднения появляется возможность вычисления пульсаций без промежуточных операций по учёту лунно-солнеч-

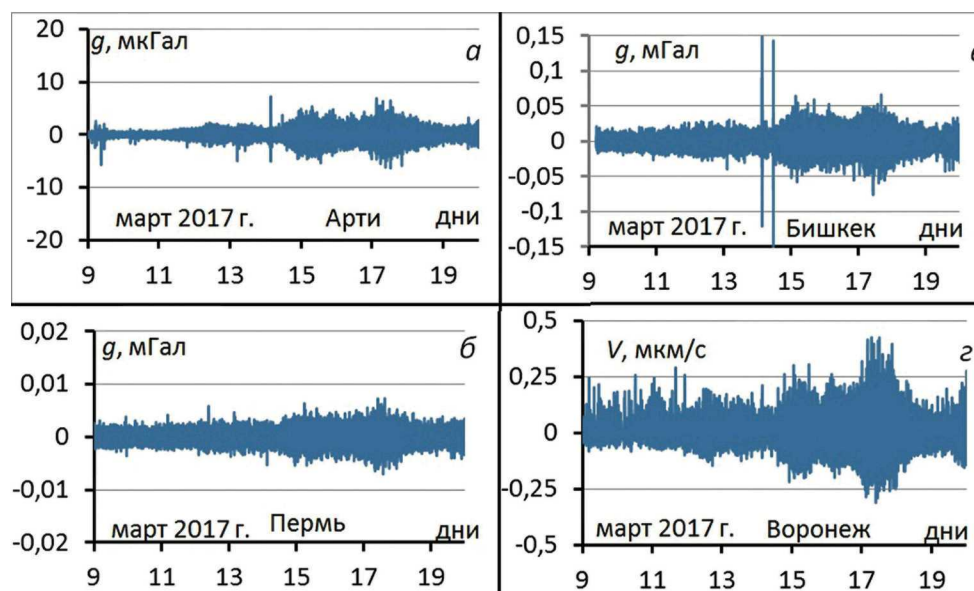


Рис. 1. Пульсации гравитационного и сейсмического полей в Арти (а), Перми (б), Бишкеке (в) и Воронеже (г) в марте 2017 г.

¹ <http://earth-chronicles.ru/news/2016-01-20-88205>, дата обращения — 28.10.2018.

² <https://maglipogoda.ru/v-noch-s-26-na-27-yanvary-a-v-primore-ozhidaets/>, дата обращения — 28.10.2018.

³ <https://sur.ly/i/ida.ucsd.edu/>, дата обращения — 28.10.2018.

ных вариаций и нуль-пункта. Поскольку пульсации силы тяжести имеют такие же периоды, что и остаточные неприливные вариации [1, 3], то для осреднения можем использовать метод скользящего окна в 10 мин. Наиболее оптимальный вариант осреднения с интервалом 5–10 мин., что легко выявить на расчётных лунно-солнечных вариациях. Добавим, что вычисление остаточных неприливных вариаций можно сделать с помощью сплайн-сглаживания, на что указывалось в [2–6].

Методика выделения пульсаций важна ещё тем, что она может быть использована при выделении «сейсмических бурь» [3]. Земля создает постоянные сейсмические колебания, которые регистрируются непрерывно сейсмографом и называются сейсмическим шумом. Амплитуда этих колебаний очень мала, но в отдельные моменты амплитуда их вдруг увеличивается на несколько порядков. Такие увеличения амплитуд шумов называют «сейсмическими бурями». Сейсмические бури также как и гравиметрические пульсации, длятся несколько дней, хорошо идентифицируются и по времени совпадают [1, 2]. Далее по тексту «сейсмические бури» по аналогии с пульсациями силы тяжести будем называть сейсмическими пульсациями.

Начнём рассмотрение пульсаций силы тяжести и сейсмического поля в четырёх пунктах (Арти, Бишкек, Воронеж и Пермь), охватывающих значительную часть Евразийского континента (рис. 1). Приведённые пульсации наблюдались в марте 2017 г. По времени пульсации совпадают между собой. Данные пульсации повторяются регулярно в марте и в другие годы и вызваны метеорным потоком Леониды. Если учесть [1], что погрешности гравиметрических наблюдений в Перми сравнялись с аналогичными погрешностями в г. Обнинске (Калужская область), то в список пунктов можно добавить ещё один пункт. Среднеквадратические погрешности измерений, которые предусмотрены программным обеспечением приборов, полностью повторяют пульсации [2]. Поэтому сравнение погрешностей измерений идентично сравнению пульсаций. В некоторых случаях, когда трудно сохранить линейность нуль-пункта гравиметра, сравнение погрешностей имеет даже некоторое преимущество.

На рис. 2 представлены пульсации силы тяжести за февраль 2015 г. в Бишкеке, Владивостоке и Арти. География сопоставления пульсаций резко расширилась. Пульсации четко совпадают между собой во всех трёх пунктах. Для февраля месяца характерны не только резкие изменения погоды, но и пульсаций. В середине февраля пульсации совпадают с метеорными потоками Центавриды: 8 февраля — Альфа, 12 февраля — Омикрон и 16 февраля — Тета-Центавриды. Обратим внимание на некоторые особенности пульсаций во Владивостоке. Кривая пульсаций сильно изрезана, что

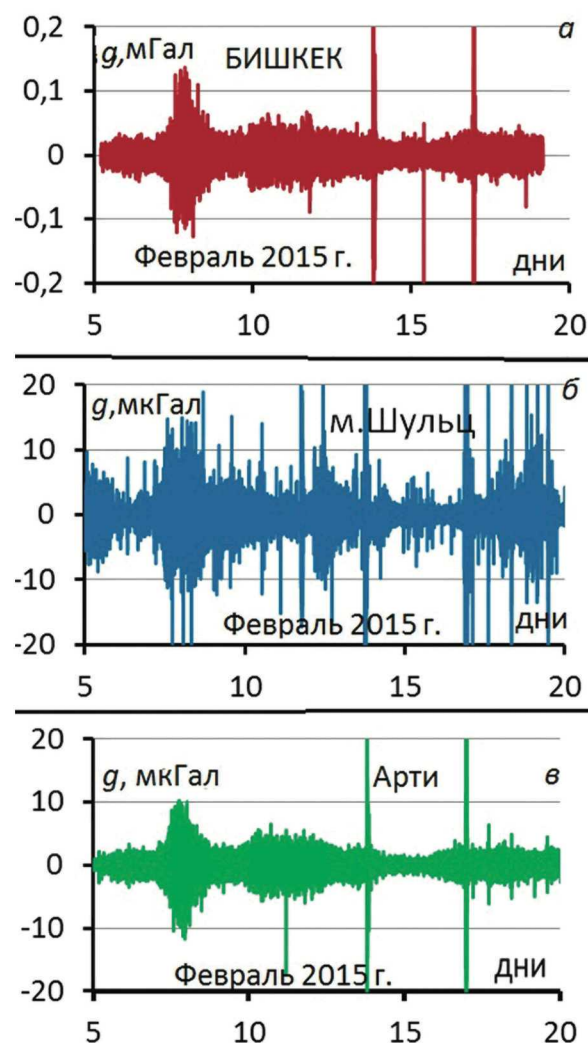


Рис. 2. Сравнение пульсаций силы тяжести в Бишкеке (а), Владивостоке (б) и Арти (в) в феврале 2015 г.

обусловлено расположением станции наблюдений на берегу моря, а в этом случае пульсации могут возникать из-за прибойных сил и прохождения атмосферного фронта². Примерно также ведут себя сейсмические пульсации по измерениям акселерометра во Владивостоке и сейсмографа в Воронеже (рис. 3).

Несколько иначе выглядят пульсации силы тяжести во Владивостоке в конце января 2015 г. Как правило, к отрезку времени 27–31 января приурочен метеорный поток Альфа Кариниды. В Бишкеке и Арти пульсации совпадают между собой (рис. 4, а, б), а вот на мысе Шульца (рис. 4, а) видим существенное отличие. Аналогичная картина наблюдается в сейсмических пульсациях в Воронеже и на мысе Шульца (рис. 5). Причиной отличия пульсации являются атмосферные процессы, происходящие на берегу океана. В ночь с 26 на 27 января на Приморье пришёл циклон, являющийся отголоском тихоокеанского тайфуна². Гравиметрические пульсации в Арти и Бишкеке начались на

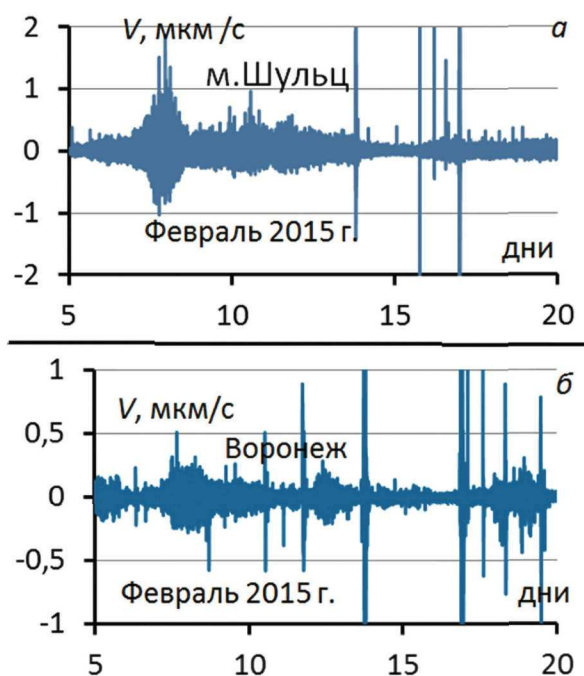


Рис. 3. Сравнение пульсаций сейсмического поля во Владивостоке (а) и Воронеже (б) в феврале 2015 г.

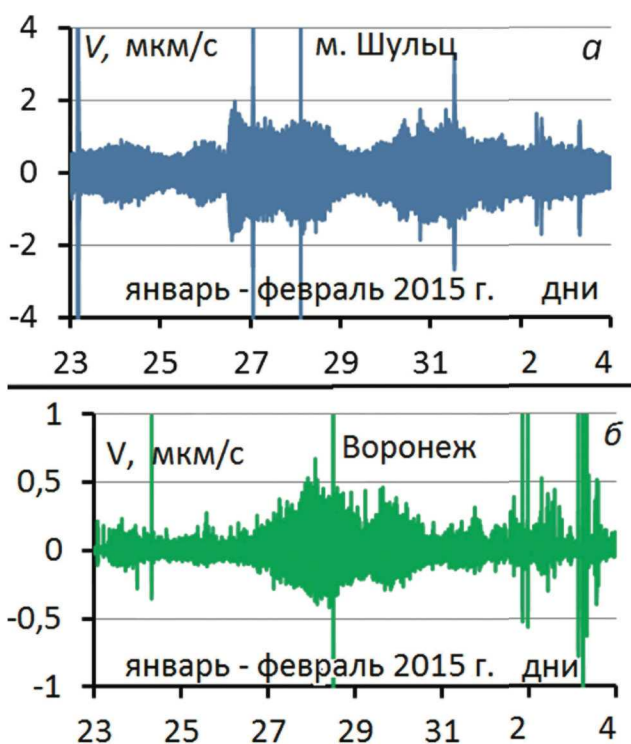


Рис. 5. Сравнение пульсаций сейсмического поля во Владивостоке (а) и Воронеже (б) в январе–феврале 2015 г.

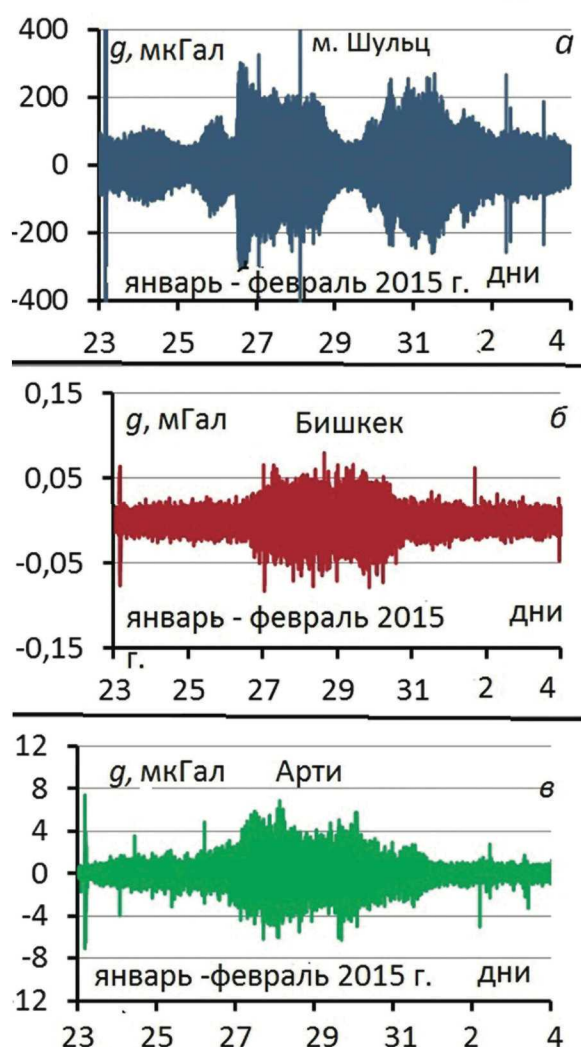


Рис. 4. Сравнение пульсаций силы тяжести в Бишкеке (а), Владивостоке (б), и Арты (в) в январе–феврале 2015 г.

сутки позже, чем во Владивостоке. В Приморье они начались уже 26 января с амплитудой большей в два–три раза, чем на континенте.

Отметим любопытную деталь в сейсмической и гравиметрической пульсациях на рис. 4, 5. В течение недели (26 января — 1 февраля) на мысе Шульца стояла пасмурная погода с северным ветром при скорости более 10–13 м/с. 29 января всего на одни сутки установилась штилевая погода (2 м/с) с переходом ветра с северного направления на восточное. Обычно штиль приурочен к центру циклона. К этому времени приурочена нулевая пульсация, что собственно лишний раз подтверждает влияние атмосферных процессов на показания гравиметров и сейсмографов [5]. Таким образом, пульсации внутри континента и в прибрежной зоне имеют разную природу возникновения.

Влияние атмосферных фронтов хорошо подтверждается сейсмическими пульсациями, пред-

ставленными на рис. 6. Данные о сейсмическом поле получены по записям со стационарных пунктов, взятых из мирового банка данных³. К сожалению, материал неоднородный по качеству, но тем не менее позволяет судить о поведении морских и континентальных пульсаций. На рис. 6 в течение декабря 2015 г. и января 2016 г. чётко прояв-

ляются пульсации (помечены овалами на рис. 6), связанные с метеорными потоками Гемениды (16 декабря) и Квадрантиды (5 января). Пульсации имеют исключительно большую амплитуду. Между пульсациями большой амплитуды имеются многочисленные пульсации, отражённые в верхней части рис. 6 и особенно в самой верхней строке. В вер-

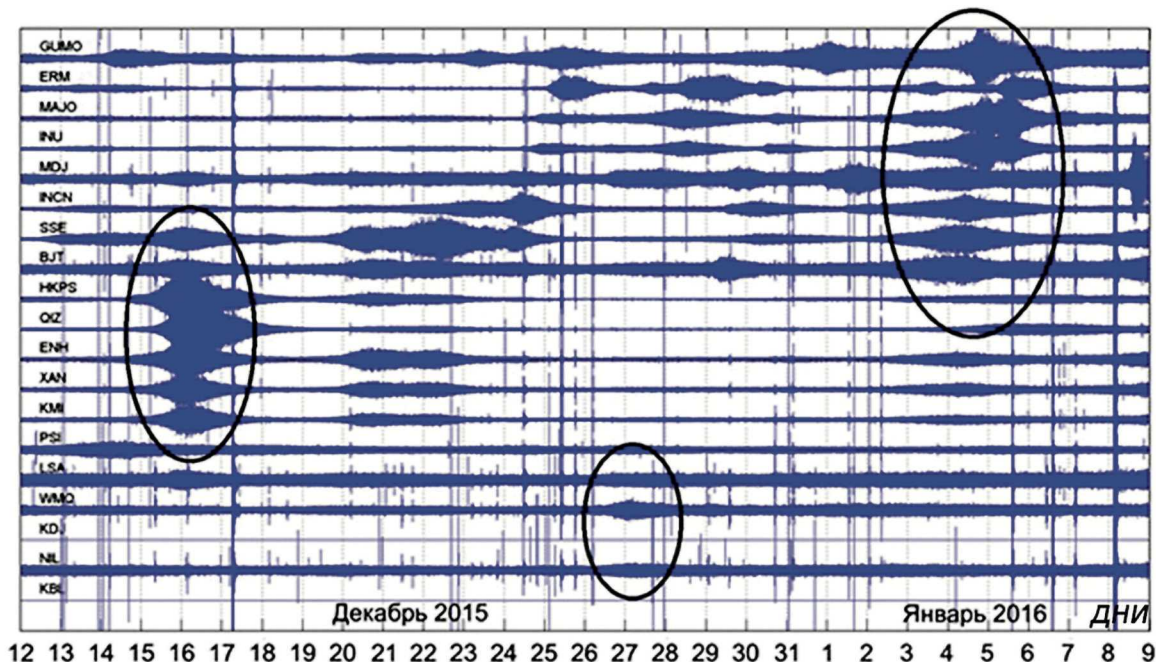


Рис. 6. Пульсации сейсмического поля в Юго-Восточной Азии в декабре 2015 — январе 2016 гг.

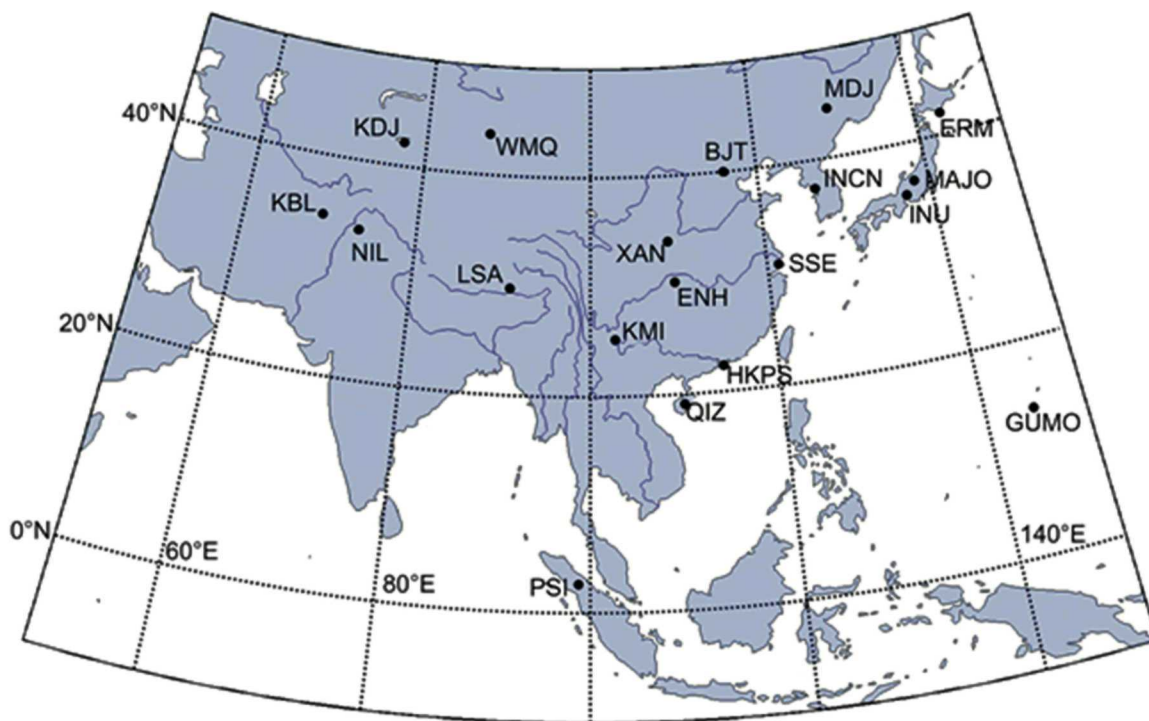


Рис. 7. Расположение сейсмических станций в Юго-Восточной Азии

хней строке рисунка приводятся результаты обработки сейсмического поля со станции о. Гуам (GUMO, 13° сш, 145° вд). Расположение стационарных пунктов для Юго-Восточной Азии дано на рис. 7. О. Гуам расположен в западной части Тихого океана и лежит на пути тайфунов, которые вызывают пульсации сейсмического поля. На рис. 8

приведена схема прохождения тайфунов за 2015 г.¹. Тайфуны зарождаются в океане, и большая часть их выходит на континент, где они постепенно ослабевают, превращаясь в штормы и циклоны, а меньшая часть возвращается обратно в океан. Поэтому верхняя часть рис. 6 отражает состояние сейсмического поля прибрежных станций. Это объяс-

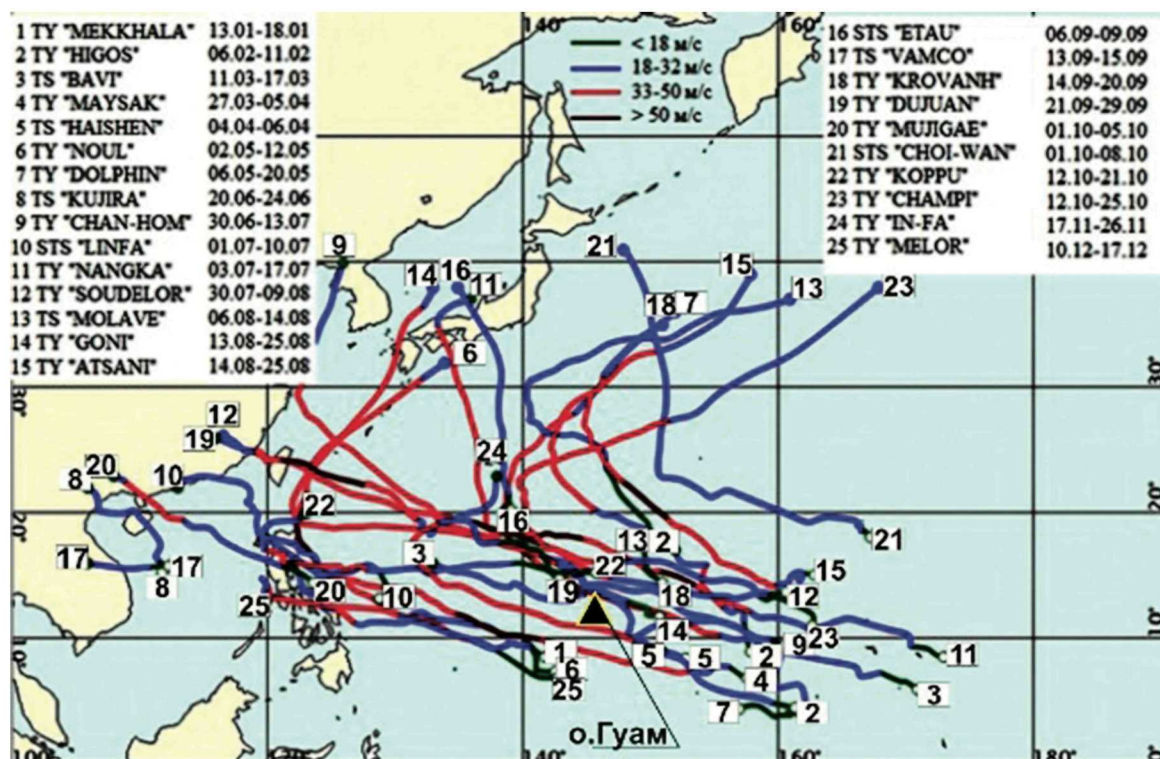


Рис. 8. Траектории прохождения тайфунов в 2015 г. в Юго-Восточной Азии

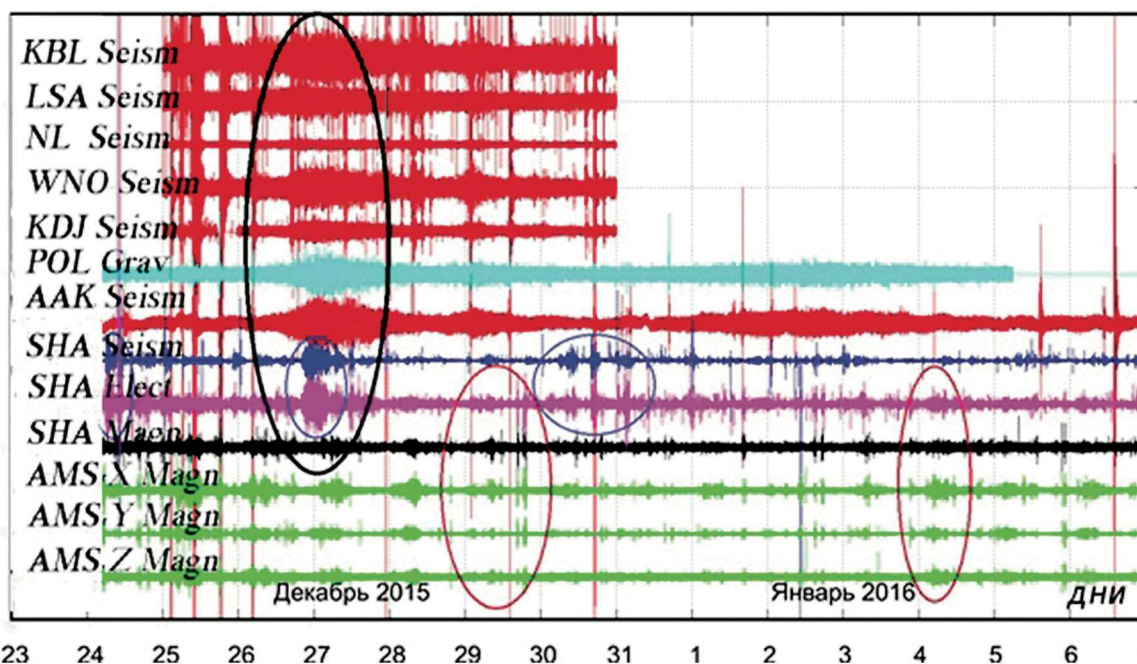


Рис. 9. Сравнение пульсаций гравитационного, сейсмического, электромагнитного и магнитного полей в Бишкеке с пульсациями сейсмического поля в континентальной части Юго-Восточной Азии

няется тем, что пульсации связаны с атмосферными фронтами [4], которые часто протягиваются на тысячи километров. А вот на станциях в глубине континента (KBL, KDJ, NIL, WMO) пульсации имеют значительно меньшую амплитуду, хотя связаны тоже с мощным метеорным потоком Урсиды (27 декабря 2015 г.).

Рассмотрим еще один пример (рис. 9) распределения сейсмо-гравитационных пульсаций на базе Бишкекского полигона (станция POL) и их взаимодействие с другими геофизическими полями в декабре — январе 2015 г. Сейсмические пульсации внутри Азиатского континента (станции KBL, LSA, NIL, WNQ) совпадают с гравиметрической пульсацией в Бишкеке (станция POL). К концу декабря почти всегда приурочен метеорный поток. (Квадрантиды). Сейсмические пульсации на станциях возле Бишкека (AAA, SHA) четко фиксируются и совпадают с гравитационными. Электромагнитное поле также является возмущенным. В магнитном поле возмущены в основном горизонтальные составляющие. Видимо, метеорные потоки воздействуют на все геофизические поля, но это объект отдельного исследования.

Таким образом, в большинстве случаев пульсации сейсмического и гравитационного полей на континенте сопровождаются метеорными потоками. Пульсации по времени синхронно регистрируются во всех пунктах от Воронежа до Владивостока, что свидетельствует о тесной связи пульсаций. Кроме того, в пульсациях проявляется четкая сезонность [1—6]. Пульсации проявляются преимущественно в осенне-зимний период, но Земля пересекает метеорные потоки в течение всего года и наиболее яркие метеорные дожди наблюдаются в весенне-летний период. Например, наиболее зрелищный метеорный поток Персеиды (середина ав-

густа) практически не вызывает пульсаций (их может заметить очень опытный наблюдатель), а вот поток Центаврид (февраль), у которого зенитное число на два порядка меньше, чем у Персеид в августе, соответствуют интенсивные и длительные пульсации. Это объясняется следующими факторами. Мощность (плотность) метеорного потока в астрономии, так сложилось исторически, оценивается зенитным часовым числом — числом наблюдаемых метеоров за 1 ч. Наблюдаемые метеоры создаются наиболее крупными частицами, а плотность метеорного потока чаще определяется мелкими частицами. Кроме того, метеорные потоки делятся по ориентации к движению Земли на догоняющие и встречные, так что момент силы удара зависит от скорости потока и угла его встречи с Землей. Таким образом, можем использовать стационарные сейсмические и гравиметрические измерения для оценки плотности метеорных потоков.

Выводы

Связь между пульсациями гравитационного и сейсмического полей однозначна и носит глобальный характер на земном шаре. Дальнейшее изучение пульсаций позволит установить более четко их физическую природу, чтобы использовать их для глубинного изучения Земли, а также метеорных потоков. В прикладном плане изучение пульсаций внесет определенные коррективы в методику высокоточных измерений силы тяжести.

Автор благодарит за предоставленные сейсмические и гравиметрические материалы Л.И. Надежку (ВГУ), М.Г. Валитова (ТИО ДВО РАН), А.К. Рыбина (ГП РАН), С.Г. Бычкова (Пермь, ПГНИУ) и А.С. Бебнева (ИГ УрО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Антонов Ю.В. Пульсации неприливных вариаций силы тяжести // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 5. С. 54—57.
3. 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.
4. Антонов Ю.В. Влияние атмосферного фронта на показания гравиметров и сейсмометров // Изв. вузов. Геология и разведка. 2017. № 4. С. 66—71.
5. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сравнение приливных вариаций силы тяжести и вертикальной составляющей сейсмографа // Геофизика. 2013. № 2. С. 27 — 31.
6. 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.

REFERENCES

1. 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).
2. 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).
3. 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. Vliyaniye atmosfernogo fronta na pokazaniya gravimetrov i seysmometrov [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. 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., 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], no 5, pp. 46—52. (In Russian).