

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.831:550.348: 523.68 : 551.5

**ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ФРОНТА
НА ПОКАЗАНИЯ ГРАВИМЕТРОВ И СЕЙСМОГРАФОВ**

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 исключения из них лунно-солнечных вариаций силы тяжести и смещения нуля-пункта гравиметра. Неприливные вариации имеют сложную морфологию и структуру. Источниками неприливных вариаций служат внутриземные процессы, потоки заряженных частиц в космосе и метеорные потоки. Метеорные потоки при взаимодействии с атмосферой Земли определяют возникновение, развитие и перемещение в атмосфере крупномасштабных вихрей — циклонов и антициклонов. В циклонах выделяют атмосферные фронты, которые оказывают влияние на показания гравиметров и сейсмографов.

Ключевые слова: атмосферный фронт; неприливные вариации силы тяжести; лунно-солнечные вариации силы тяжести; метеорные потоки; пульсации сейсмического и гравитационного полей.

**THE INFLUENCE OF THE ATMOSPHERIC FRONT
ON THE READINGS OF THE GRAVIMETERS AND SEISMOGRAPHS**

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 have a complex morphology and structure. The sources of the non-tidal variations are the intracrustal processes, flows of the charged particles in space and meteor showers. Meteor showers interacting with the Earth's atmosphere determine the occurrence, development and movement in the atmosphere of the large-scale eddies — cyclones and anticyclones. The atmospheric fronts are distinguished in isolated cyclones. These fronts can influence the measurements of the gravimeters and seismographs.

Keywords: atmospheric front; non-tidal variations of gravity; lunar-solar variations of gravity; meteor showers; pulsations of the seismic and gravity fields.

Начнем рассмотрение вопроса с пульсаций неприливных вариаций силы тяжести и сейсмического поля, которые ранее были выявлены и так названы в [1, 3]. Пульсации неприливных вариаций могут продолжаться от полусуток до нескольких суток. Представляют они собой гармонические колебания возле нулевой отметки с периодами не

более 20 мин. [1—4]. Амплитуда этих колебаний обычно начинается с минимальных значений ($\pm 0,02$ мГал), увеличивается к центру, достигая иногда ($\pm 0,1—0,15$) мГал, и возвращается к тем же значениям. Реже колебания начинаются с резкого увеличения амплитуды с последующим уменьшением.

Пульсации повторяются из года в год, имеют некоторую приуроченность к определённым датам и сезонам [1–4]. Например, пульсации в конце января [1–4] повторяются уже в течение 8 лет. При этом это повторение носит глобальный характер. Рассмотрим пульсации в Бишкеке, Воронеже и

Владивостоке (рис. 1). Поскольку в Воронеже стационарных гравиметрических наблюдений нет, то для сравнения были использованы наблюдения сейсмографов. Дело в том, что пульсации силы тяжести и сейсмические пульсации совпадают между собой, о чем подробно изложено в [4]. Результаты

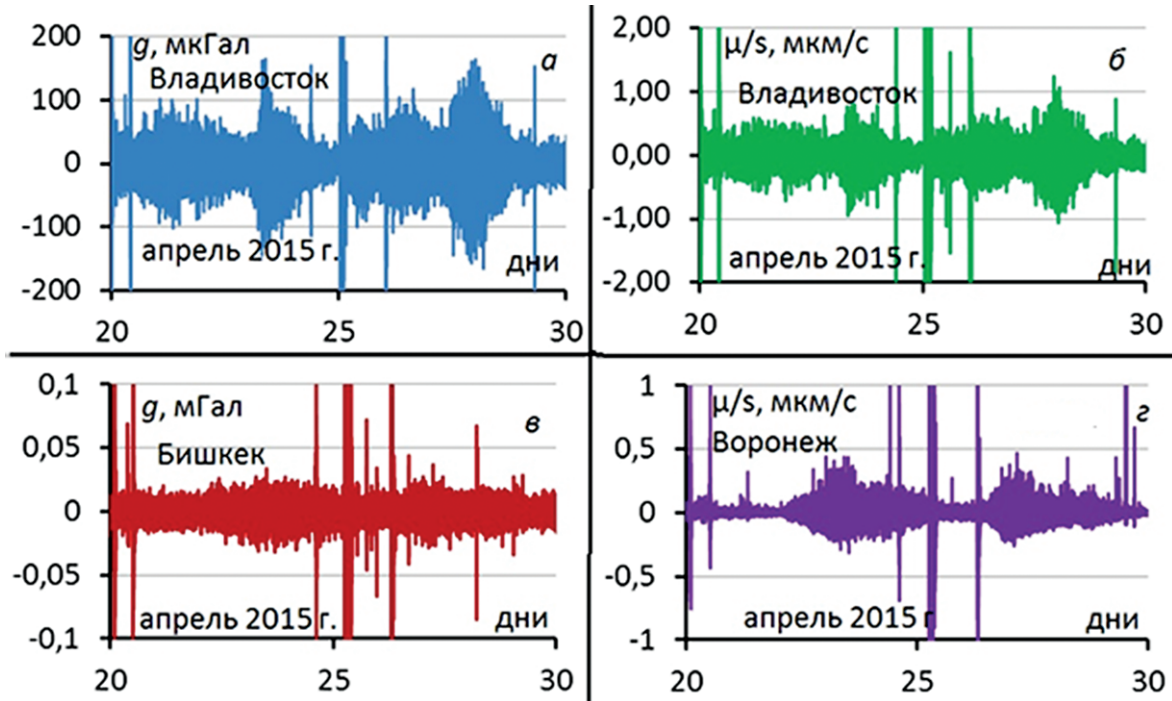


Рис. 1. Сравнение пульсаций сейсмического и гравитационного полей во Владивостоке, Бишкеке и Воронеже в январе 2015 г.: а – пульсации силы тяжести во Владивостоке; б – данные акселерометра во Владивостоке; в – пульсации силы тяжести в Бишкеке; г – пульсации сейсмического поля в Воронеже

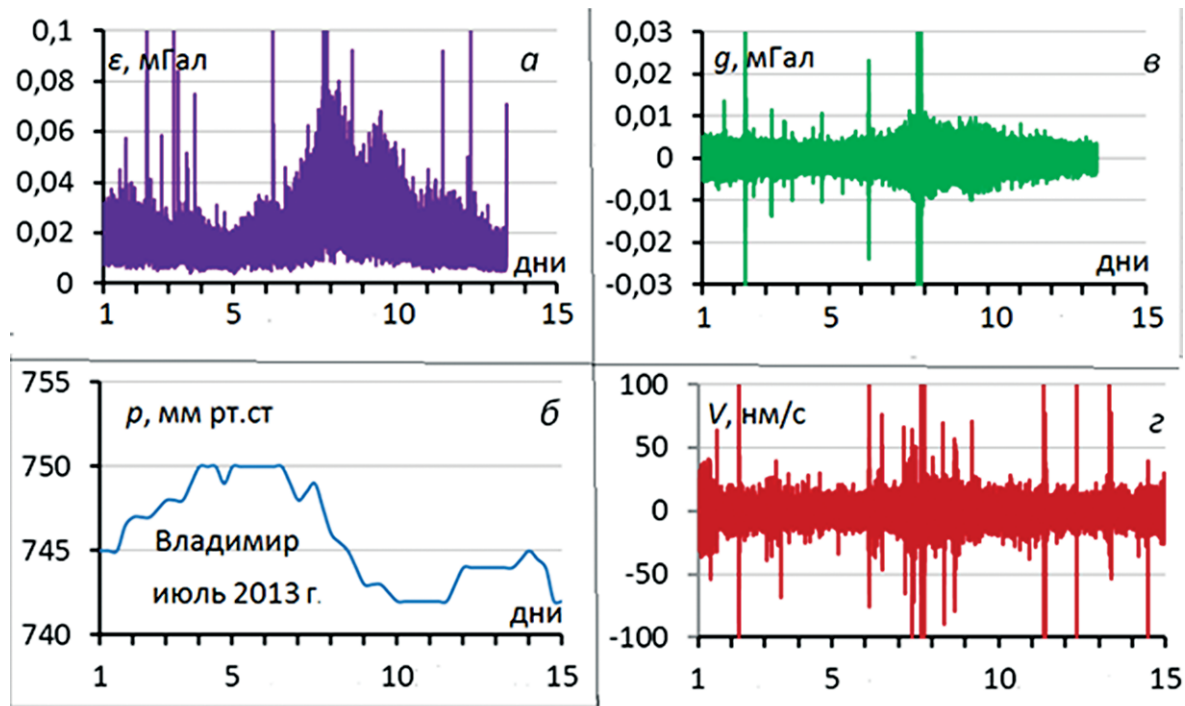


Рис. 2. Пульсации сейсмического поля и неприливных вариаций силы тяжести, погрешность измерений силы тяжести и изменение атмосферного давления во Владимире 1–15 июля 2013 г.: а – среднеквадратическая погрешность измерений силы тяжести; б – изменение атмосферного давления; в – пульсации силы тяжести; г – пульсации сейсмического поля (интервал сглаживания 20 мин.)

сравнения пульсаций в Воронеже и Бишкеке практически идентичны, поскольку приборы находятся внутри евразийского континента. Во Владивостоке имеются одновременно наблюдения гравиметра и акселерометра. Пульсации силы тяжести во Владивостоке и Бишкеке совпадают между собой (рис. 1, а, в). Такое же совпадение наблюдается между пульсациями акселерометра во Владивостоке и сейсмическими пульсациями в Воронеже (рис. 1, б, г). Но если пульсации в Бишкеке и Воронеже чётко локализованы, то во Владивостоке имеются дополнительные пульсации. Это объясняется тем, что Владивосток находится на берегу Японского моря, и на показания приборов влияют проходящие штормы, циклоны, тайфуны и т. д. В конкретном случае 22 и 28 апреля 2015 г. в Приморье (рис. 1, а, б) прошли атмосферные фронты, которые создали дополнительные пульсации.

Сами пульсации (рис. 1, б) получаются простым вычитанием линейного фона из непривинной вариации силы тяжести после исключения лунно-солнечных вариаций из наблюдаемых значений гравиметра. Если пульсацию сгладить методом осреднения, то высокочастотная часть пульсации даёт нулевой эффект, а сама сглаженная аномалия представляет собой слабоинтенсивные колебания с периодом, близким к 12 ч [2]. Следует также отметить, что амплитуда пульсации практически повторяет амплитуду среднеквадратической погрешности измерений, вычисление которой предусмотрено в программном продукте гравиметра [1, 4].

Высказанные предположения попытаемся подтвердить другими примерами. На рис. 2 представлены результаты обработки мониторинговых наблюдений вариаций во Владимирской области (данные ИФЗ РАН [8]) за июль 2013 г. Измерения проводились во время прохождения атмосферного фронта, что подтверждается падением атмосферного давления (рис. 2, б). В это время отмечались грозные явления. Прохождение атмосферного фронта вызывает пульсации силы тяжести (рис. 2, в). Амплитуда пульсаций невелика (до ± 10 мкГал), но сама пульсация отмечается уверенно и превышает почти на порядок техническую погрешность гравиметра CG-5 Autograv (около ± 1 мкГал). Примерно такой же вид имеет сейсмическая пульсация (рис. 2, г), которая получена так же, как и гравиметрическая пульсация. Тем не менее в силу специфики наблюдений [8] сейсмическая и гравиметрическая пульсации несколько сглажены. На самом деле амплитуды пульсаций должны быть несколько больше. Выше, а также в [1–4] уже указывалось о совпадении формы у гравиметрических пульсаций и среднеквадратической погрешности измерений силы тяжести. Вычисление погрешности предусмотрено программным обеспечением прибора. Обратим внимание на график среднеквадратической погрешности (рис. 2, а), который

свидетельствует об увеличении погрешности при прохождении атмосферного фронта. Максимальная амплитуда погрешности достигает $\pm (0,06–0,08)$ мГал. Естественно, в реальности амплитуда пульсации силы тяжести (рис. 2, в) должна быть больше, чем имеем на самом деле.

Атмосферные фронты нередко имеют протяженность более 1–2 тыс. км. Фронт, проходивший через Владимирскую область в июле 2013 г., одновременно проходил через Воронежскую область. На рис. 3 представлены данные сейсмической записи в Воронеже (станция Сторожевое) и изменение атмосферного давления. Результаты со станции Сторожевое полностью идентичны данным по Владимирской области. График наблюдаемого сейсмического поля (рис. 3, а) по форме совпадает с графиком среднеквадратической погрешности силы тяжести (рис. 2, а), а графики атмосферного

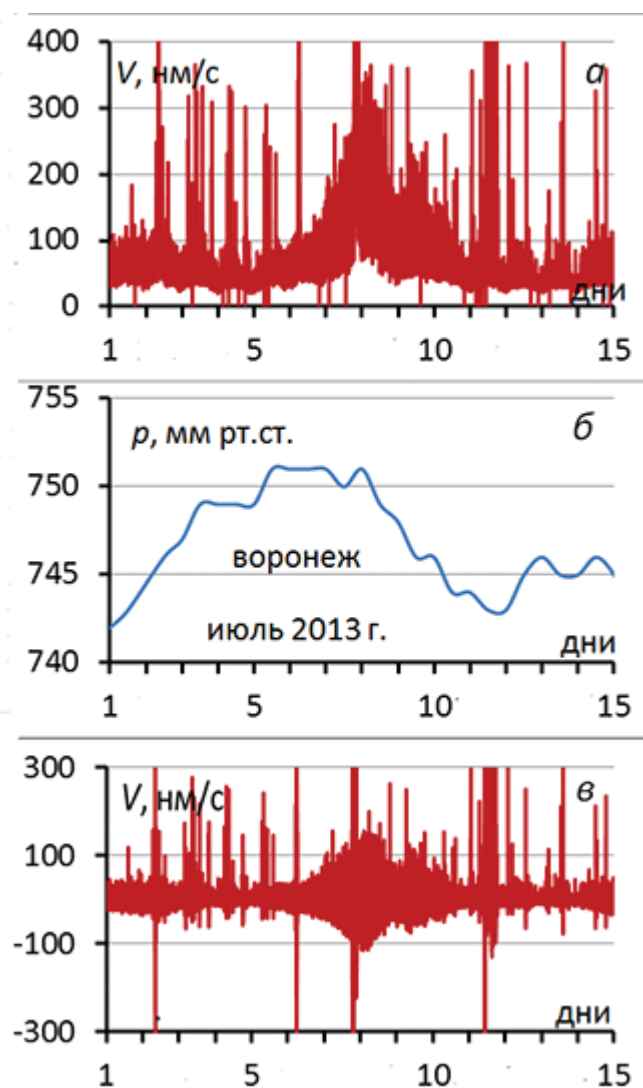


Рис. 3. Сейсмические измерения, пульсации сейсмического поля, изменение атмосферного давления в г. Воронеже 1–15 июля 2013 г.: а – колебания вертикальной составляющей сейсмического поля; б – изменение атмосферного давления; в – пульсации силы тяжести; г – пульсации сейсмического поля

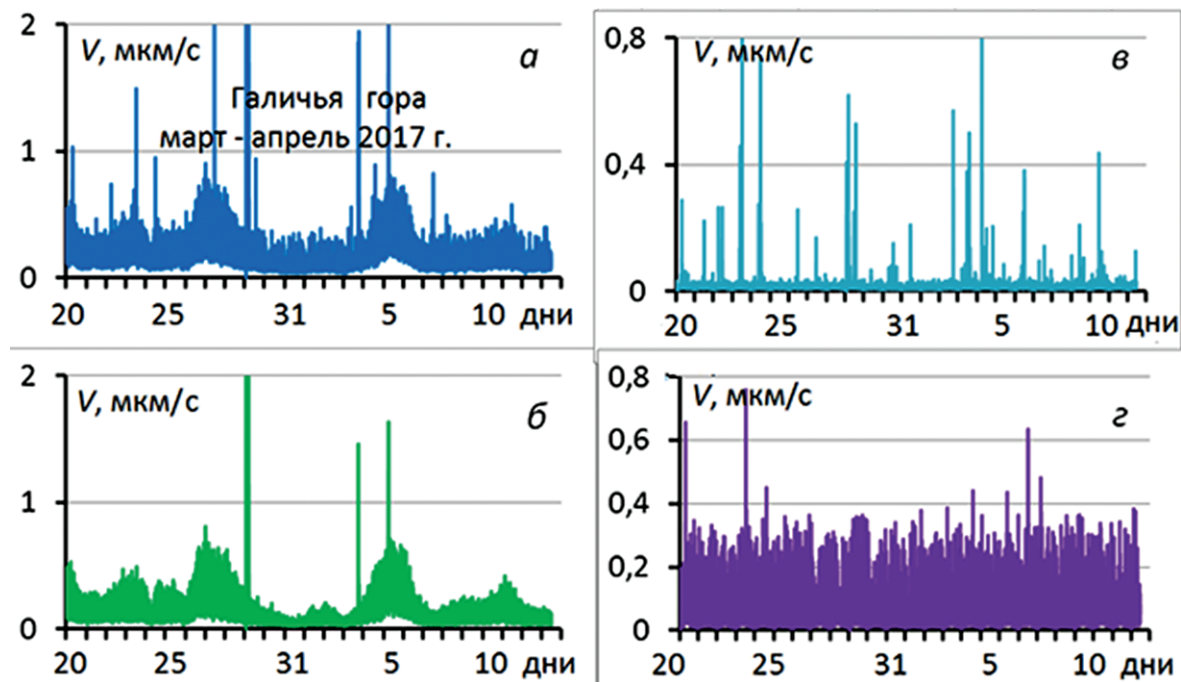


Рис. 4. Характер изменения сейсмического поля (20 марта—14 апреля 2017 г.) в г. Воронеже (станция Галичья Гора): а — сейсмические колебания в марте—апреле 2017 г.; б — сейсмические колебания в полосе 0,1—0,4 Гц; в — сейсмические колебания в полосе 0,7—1,4 Гц; г — сейсмические колебания в полосе 2—8 Гц;

давления в Воронеже и Владимире практически аналогичны. Добавим, что максимумы пульсаций и атмосферного давления несколько смещены один относительно другого: максимум пульсации ближе к максимуму градиента давления.

В марте—апреле 2017 г. после ранней весны и освобождения от снежного покрова прошли атмосферные фронты со шквалистым ветром и снежными залпами (26—27 марта и 5—6 апреля). Были оперативно рассмотрены записи сейсмического поля в Воронежском регионе (рис. 4, 5). Начнем рассмотрение сейсмических записей со станции Галичья Гора севернее Воронежа на 70 км (г. Задонск Липецкой области), где практически отсутствуют техногенные помехи (рис. 4). Амплитуда сейсмических колебаний во время прохождения фронта отмечается максимумом (рис. 4, а). Но ещё за сутки—двое до прихода атмосферного фронта амплитуда колебаний начинает возрастать. Видимо, колебания передаются не только по земной коре, но и по воздуху, так как в атмосфере скорость колебаний может достигать несколько сот метров в секунду. Но данный вопрос требует дальнейшего изучения. Спектральный анализ показывает, что для сейсмических колебаний характерны периоды с длительностью от 2 до 10 с. Именно в этой полосе частот сосредоточена основная энергия волн (рис. 4, б). В полосах частот от 0,7 до 1,4 Гц (рис. 4, в) и от 2 до 8 Гц (рис. 4, г) влияние атмосферного фронта практически нет.

На рис. 5 представлены результаты измерения сейсмического поля на станции Новохоперск (южнее Воронежа на 90 км). Техногенная ситуация в Новохоперске неблагоприятная. Тем не менее, про-

хождение атмосферных фронтов также отмечается, что чётко видно по амплитуде колебаний в полосе частот 0,1—0,4 Гц (рис. 5, б). Соотношение графиков атмосферного давления (рис. 5, в) и сейсмического поля (рис. 5, б) такое же, как и в предыдущих примерах.

Было проведено также сравнение сейсмических колебаний 2017 г. с колебаниями за 2015 г. за тот же период (рис. 6). В какой-то мере колебания разных лет совпадают между собой с некоторым временным сдвигом 2—3 сут. Особенно хорошо виден временной сдвиг на кривых изменения атмосферного давления (рис. 6, в). Этому есть простое объяснение. Климат имеет годовую периодичность, и погодные явления при наличии локальных отклонений имеют те же периодические зависимости. А временной сдвиг между сейсмическими пульсациями разных лет определяется, скорее, всего влиянием Луны, так как лунный год не совпадает с принятым календарём.

Таким образом, можно утверждать, что атмосферный фронт оказывает влияние на измеренные значения силы тяжести и сейсмические колебания. Очевидно, амплитуда колебаний у приборов будет зависеть от мощности атмосферного фронта (от силы ветра, градиента перепада атмосферного давления, влагонасыщенности, температуры и других метеорологических факторов). Установленные факты влияния атмосферных фронтов на показания гравиметров и сейсмографов позволяют несколько иначе подойти к причине возникновения микросейсм. В вопросе о причине микросейсм большинство исследователей [9—11] придерживаются еди-

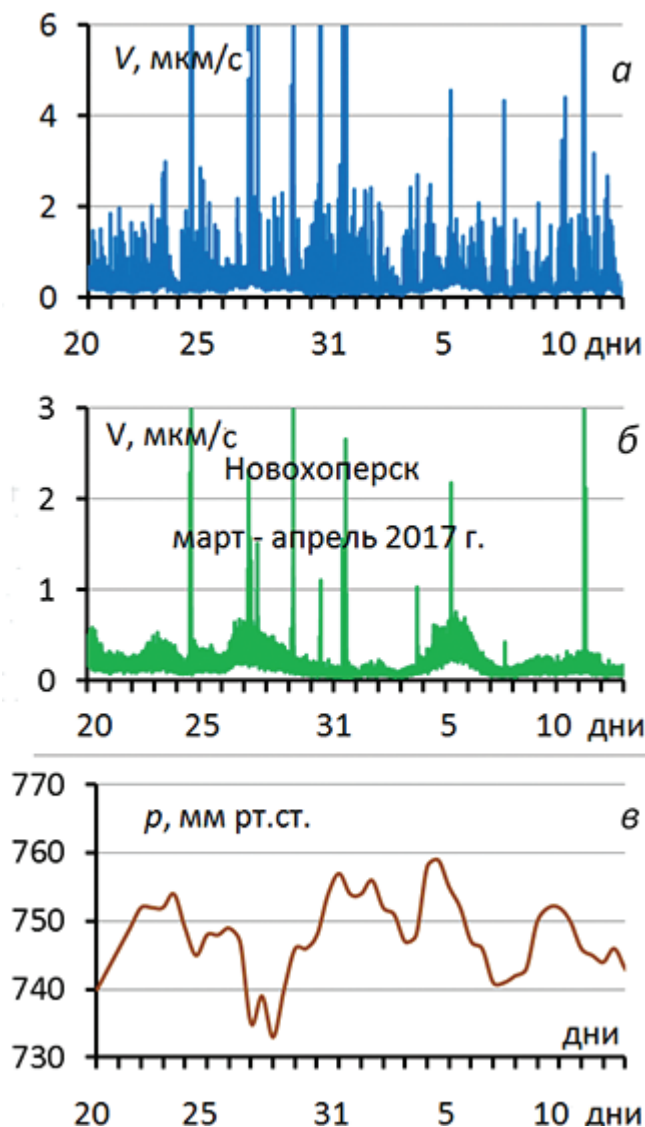


Рис. 5. Характер изменения сейсмического поля (20 марта—14 апреля 2017 г.) в г. Воронеже (станция Новохоперск): *а* — сейсмические колебания в марте—апреле 2017 г.; *б* — сейсмические колебания в полосе 0,1–0,4 Гц; *в* — изменение атмосферного давления

ной точки зрения, считая, что микросейсмы первого и второго рядов возникают преимущественно в результате передачи энергии морских волн в земную кору.

По поводу механизма генерации микросейсм существует несколько гипотез [9–11]. Были высказаны идеи об образовании микросейсм в результате удара морских волн о крутые берега и о возбуждении микросейсм в результате передачи энергии морских волн на дно океана в центре циклона, в какой бы части океана он ни находился, об образовании микросейсм стоячими волнами на поверхности водных бассейнов. Области генерации микросейсм в соответствии с механизмом их образования приурочены к прибрежным зонам. Самым спорным вопросом в проблеме микросейсм остаётся их волновая структура. Считалось, что микросейсмические волны являются исключи-

тельно поверхностными волнами, но затем было установлено, что во внутриконтинентальных пунктах значительная часть микросейсм относится к объёмным продольным волнам. Кроме того, нами в данном конкретном примере рассматриваются пульсации сейсмического и гравитационного полей от циклонических вихрей, центр которых расположен на Евразийском континенте. В этом случае вряд ли уместно говорить о передаче энергии от ударов морских волн о берега.

В результате можно констатировать, что неприливные вариации силы тяжести [1, 4], внутренние гравитационные волны в атмосфере [7] и микросейсмические волны в земной коре [9–11] связаны между собой. Рассмотрим возможную иерархию взаимоотношений между указанными процессами. По-видимому, первопричиной всему служат метеорные потоки в солнечной системе [6, 7]. Появление пульсаций силы тяжести носит периодический характер (ежегодно в определенное время). Для метеорных потоков ионосфера не является филь-

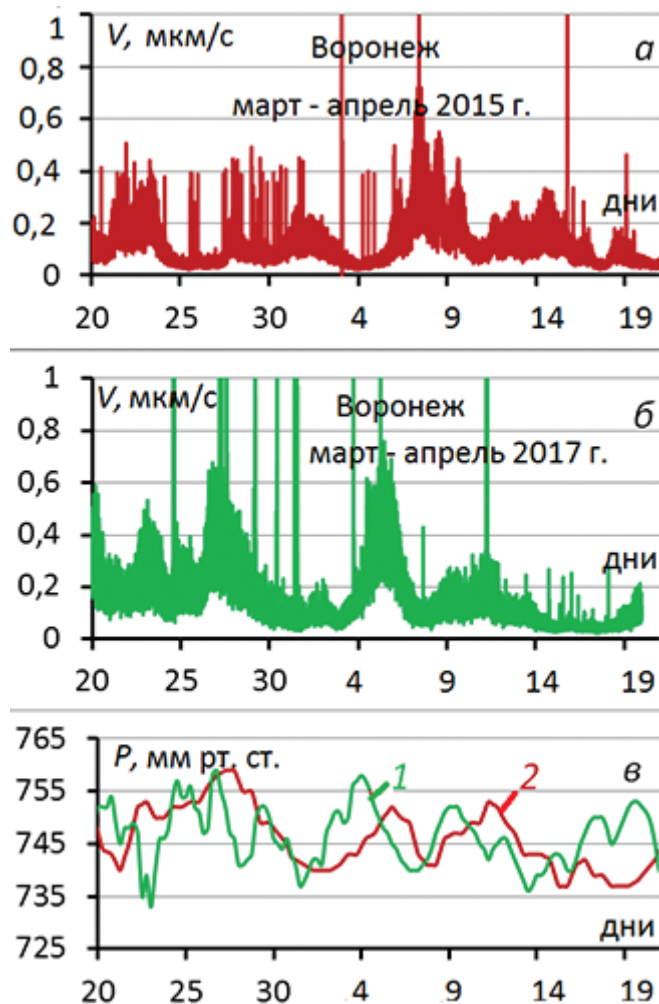


Рис. 6. Сравнение сейсмических колебаний в марте—апреле 2015 г. с сейсмическими колебаниями того же периода в 2017 г.: *а* — сейсмические колебания в марте—апреле 2015 г.; *б* — сейсмические колебания в марте—апреле 2017 г.; *в* — изменение атмосферного давления в марте—апреле 2015 и 2017 гг.: 1 — давление в 2017 г.; 2 — давление в 2015 г.

тром, поскольку почти все частицы в метеорном потоке не заряжены, и они ударяют по атмосфере Земли, вызывая пульсации силы тяжести [1–4] и сейсмические колебания в атмосфере и Земле. Но главное, что пульсации гравитационного и сейсмического полей синхронны.

Существуют ли другие источники возникновения пульсаций силы тяжести, исключая Луну и Солнце? Планеты солнечной системы создают переменное поле силы тяжести, но даже во всей своей совокупности они не могут создать волну заметной амплитуды, которую могли бы измерить гравиметром. Возможно возникновение пульсаций в результате корональных выбросов [6, 7, 11]. Но механизм образования колебаний в этом случае несколько другой. При корональных выбросах предполагается, что в плазме, окружающей Солнце, поток заряженных частиц возбуждает магнитогидродинамические волны, которые, достигая ионосферы, превращаются в электрические волны. Далее возникшее электромагнитное поле оказывает влияние уже на Землю. Основным барьером для распространения корональных выбросов служит ионосфера. Но корональные выбросы масс оказывают значительно меньшее влияние, чем метеорные потоки.

Поскольку для метеорных потоков ионосфера не является фильтром, то потоки материальных

частиц, которые поступают в атмосферу (частицы с размерами от 0,001 мкм до нескольких десятков—сотен микрометров), определяют глобальные облачность, альбедо и климат Земли. На фоне глобальных изменений атмосферы возникают вторичные процессы в виде циклонических вихрей (тайфуны, штормы, торнадо, атмосферные фронты и т. д.). В таком виде представляется упрощенная модель образования пульсаций геофизических полей. На самом деле все обстоит гораздо сложнее, Нельзя не упомянуть о космических лучах и космической пыли [5–7]. Космические лучи играют одну из главных ролей в атмосферном электричестве. Они обеспечивают электропроводность атмосферы в диапазоне высот 0–60 км и являются одной из основных причин при образовании грозовых облаков. Космическая пыль играет аналогичную роль, что и метеорные потоки, но в меньшем масштабе. Все процессы в системе Солнце — Земля — Луна взаимосвязаны, и измерения геофизических полей позволяют нам более полно изучить указанное пространство и отдельно Землю.

В практическом аспекте учёт влияния космического и атмосферного происхождения даст возможность проводить более точные съёмки и выделять аномалии, непосредственно связанные с изучением того или иного геологического объекта.

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. Разделение неприливных вариаций силы тяжести на основе спектрального анализа и метода осреднения // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. 2016. В. 2. С. 100–106.
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. Бабаджанов П.Б., Обрубов Ю.В. Метеороидные рои: Образование, эволюция, связь с кометами и астероидами // Астрон. Вестник. 1991. Т. 25, № 4. С. 387–407.
6. Борисевич А.К., Границкий Л.В. Предварительные результаты исследования влияния метеорных потоков на погодные условия // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Иркутск, 2000. С. 3.
7. Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы // Л.: Гидрометеиздат, 1969. 195 с.
8. Дробышев М.Н. Совершенствование методических приемов оценки вертикального перемещения точек земной поверхности // Автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 2016. 20 с.
9. Монахов Ф.И. Низкочастотный сейсмический шум Земли. М.: Наука, 1997. 94 с.
10. Рапопорт М.Б. Вычислительная техника в полевой геофизике: Учебник для вузов. М.: Недра, 1993. 350 с.
11. Рыкунов Л.Н. Микросейсмы. М.: Наука, 1967. 86 с.