

УДК 550.831

ВОЗМОЖНАЯ ПРИРОДА ПУЛЬСАЦИЙ НЕПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Антонов Ю. В.

THE POSSIBLE PULSATIONS OF NON-TIDAL GRAVITY VARIATIONS

Antonov Yu. V.

Voronezh State University, Voronezh, 394036, Russia
e-mail: yuriyantonov@yandex.ru

Abstract. In the article the analysis of the monitoring measurements of gravity in Bishkek (Kyrgyzstan). To measure the force of gravity is used for the gravimeter GS-5 Autograv. The device is located outside the city in a tunnel with constant temperature. The device is not influenced by manmade interference. The observed tidal changes of gravity differ from the theoretical values of the gravitational attraction of the moon and the Sun. The difference between the measured and theoretical values of gravity are non-tidal variations of gravity. Non-tidal variations are harmonic oscillations of constant amplitude. Sometimes harmonic vibrations increase in amplitude and continue for up to several days. Oscillations with increased amplitude of pulsation is called gravity. Pulsations are one-year repeatability. The assumption is made that non-tidal variations of gravity depend on meteor showers. The trajectory of the Earth intersects with the trajectories of meteor showers. Apparently, due to the impact of meteoric matter on the Earth's atmosphere arise ripple. Pulsation source can serve as a coronal mass by the sun. In this case, the charged particles hit the Earth's magnetosphere and cause hydromagnetic oscillations which are transmitted to the Ground. Assumptions of the influence of terrestrial and cosmic processes on the formation of non-tidal gravity variations are confirmed by the actual material.

Keywords: non-tidal variations of gravity, coronal mass emissions, a pulsation of gravity, coronal mass emissions, nutation of the Earth, meteor showers

Введение

Земля является частью динамической системы Солнце – Земля – Луна. Наибольшее влияние на Землю оказывают Солнце и Луна. Поэтому все физические процессы, происходящие на поверхности и внутри Земли, так или иначе находятся под влиянием Солнца и Луны и изменяются одновременно. В частности, это относится к наблюдаемым магнитному, электромагнитному, сейсмическому и гравитационному полям. Эти поля взаимосвязаны между собой и могут меняться синхронно под действием внешних сил. Связи эти весьма разнообразны и данному вопросу посвящено огромное количество работ.

1. Исходные данные

Результаты исследований опираются на мониторинговые гравиметрические измерения на геодинимическом полигоне Научной станции РАН в г. Бишкеке (Киргизстан). Для измерений используется гравиметр CG-5

Autograv, установленный в штольне с постоянной температурой далеко за городом, чтобы исключить влияние помех техногенного характера. Шаг измерений гравитационного поля преимущественно (около 80 %) составляет 30 с, но часть наблюдений проведены с интервалом 20 с, 1, 2 и 5 мин.

Предметом изучения являются неприливно-вариации силы тяжести, величины которых получены путем исключения расчетных значений лунно-солнечных вариаций силы тяжести из наблюдаемых значений переменного гравитационного поля. Таким образом, оставшаяся часть переменного поля, называемая неприливно-вариациями, не связана с притяжением Луны и Солнца, а зависит от внутреннего геодинимического состояния Земли в целом и внешних факторов, обусловленных явлениями, происходящими в Солнечной системе. Конечно, какая-то часть лунно-солнечных вариаций, связанная с погрешностями использованных для расчета формул,

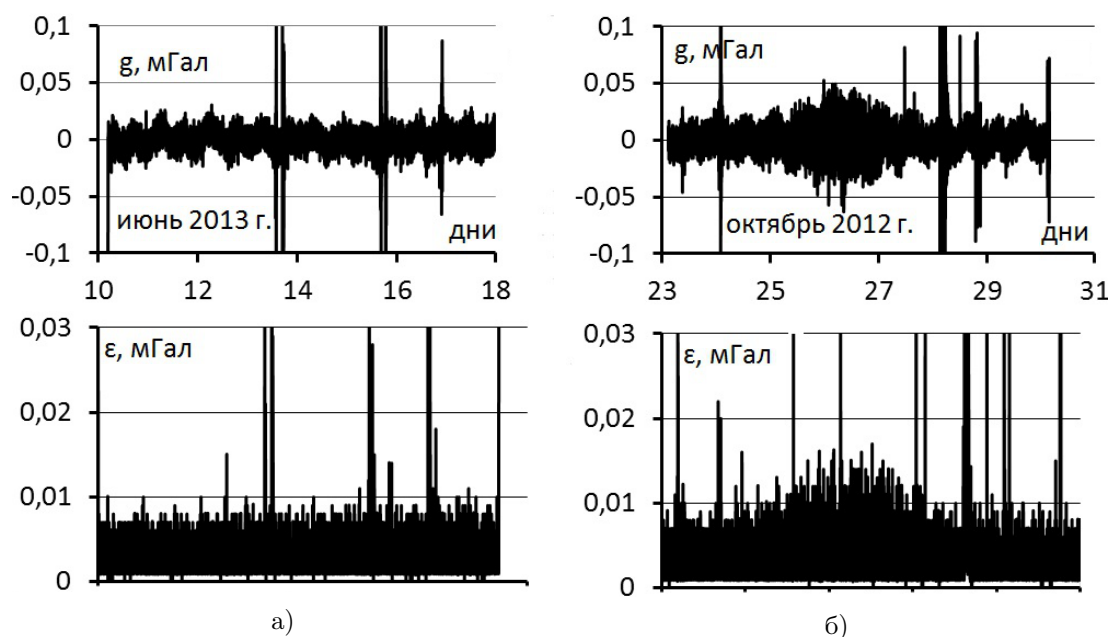


Рис. 1. Характер изменения неприливых вариаций силы тяжести: а) изменение неприливной вариации силы тяжести в «спокойные» дни (g , мГал — изменение силы тяжести; ε , мГал — изменение среднеквадратической погрешности измерений); б) пульсации неприливной вариации силы тяжести дни (g , мГал — изменение силы тяжести; ε , мГал — изменение среднеквадратической погрешности измерений)

остается неучтенной (как правило, в области экстремумов), но она не существенна. Более подробные данные по методике гравиметрических измерений и их обработке приведены в [1–7].

2. Интерпретация неприливых вариаций силы тяжести

Автором данной статьи в [1] впервые были описаны пульсации неприливых вариаций силы тяжести. Проявления пульсаций разнообразны как по длительности (от нескольких часов до нескольких суток), так и по форме. Вероятно, и причины, порождающие эти пульсации, имеют различную природу. Пульсации на фоне спокойных колебаний могут возникать в виде постепенного увеличения амплитуды колебаний до достижения определенного максимума, а потом постепенного ее уменьшения до фонового значения. Но в отдельных случаях они могут начинаться резким скачком амплитуды колебаний с последующим медленным затуханием или наоборот. Начнем рассмотрение пульсаций сравнением «спокойных» неприливых вариаций силы тяжести с пульсирующими вариациями (рис. 1).

На рис. 1а приведен график изменения неприливной вариации в «спокойное» время. Большей частью результаты измерений по времени имеют именно такой вид. Иногда на графиках отражаются землетрясения и пульсации. Землетрясения, как правило, непродолжительны и характеризуются рядом признаков, присущих только этому явлению. На графике (рис. 1а) заметны волнообразные изменения, вероятно, связанные с модуляцией неприливых колебаний давлением солнечного света, влияние которого при вычитании лунно-солнечных вариаций не учтено. Понятие «спокойных» вариаций является чисто условным. Ранее уже отмечалось [1], что графики «спокойных» вариаций имеют амплитуду колебаний до $\pm 0,02$ мГал, тогда как техническая погрешность гравиметра CG-5 Autograv составляет $\pm 0,001$ мГал. Помимо собственных измерений силы тяжести, с помощью указанного гравиметра определяется среднеквадратическая погрешность измерений силы тяжести (ε), график которой представлен внизу на рис. 1а. В данном конкретном случае погрешность на всем интервале наблюдения практически не изменяется, за исключением отдельных выскоков силы тяжести.

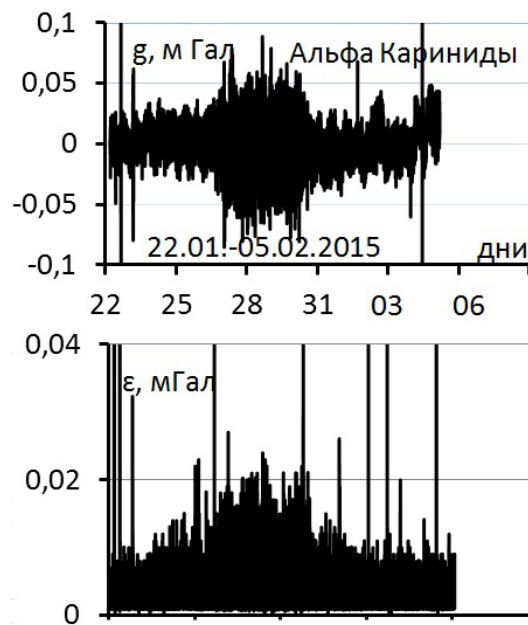


Рис. 2. Изменение пульсации силы тяжести (g , мГал) и среднеквадратической погрешности измерений (ε , мГал) за период 22 января – 5 февраля 2015 г.

сти в измерениях, связанных с локальными событиями, обусловленных динамикой орогенного региона, и равна $\pm 0,007$ мГал. Не исключено, что превышение колебаний неприливных вариаций силы тяжести и среднеквадратической погрешности над технической погрешностью почти на порядок обусловлено расположением прибора в активной зоне альпийской складчатости.

Теперь обратимся конкретно к пульсации (рис. 16). Это типичная пульсация продолжительностью около трех суток, которая начинается постепенным увеличением амплитуды колебаний, а потом медленным возвращением к прежним значениям. Ниже графика пульсации (рис. 16) расположен график среднеквадратической погрешности измерений (ε), которая по форме полностью повторяет кривую пульсации. Забегая вперед, отметим, что пульсации всегда без исключения сопровождаются увеличением среднеквадратической погрешности (ε). Таким образом, погрешность измерений является важным элементом в наблюдениях неприливных вариаций силы тяжести.

Перейдем к следующей пульсации (рис. 2). Пульсация продолжалась более пяти суток. График погрешности измерений (ε) снова полностью повторяет пульсацию. Амплитуда колебаний практически сопоставима с ампли-

тудой лунно-солнечных вариаций. Был проведен амплитудно-частотный анализ пульсации и среднеквадратичной погрешности. На рис. 3а представлены спектральные плотности мощности для всей оси. Общий характер изменения плотности для пульсации и погрешности одинаков. На длинных периодах (750–6 000 мин.) наблюдаются повышенные значения плотности мощности, с уменьшением периодов плотность падает, слегка увеличиваясь в интервале периодов 10–15 мин. На больших периодах для пульсации выделяется максимум на 750 мин., который в точности равен лунно-солнечному приливу M2. Но ведь для получения значений пульсации лунно-солнечные вариации были исключены из наблюдений силы тяжести. Тогда почему появился этот период? Скорее всего, лунно-солнечные вариации модулировали колебания пульсации. Это обстоятельство следует учитывать. Тем не менее, можно сделать вывод, что лунно-солнечные приливы не являются причиной возникновения пульсаций.

Что же касается периода 2 000 мин. для кривой погрешностей, то появление этого периода объяснить пока трудно. На рис. 3б представлены спектры в интервале 100–300 мин. Периоды пульсаций и погрешностей совпадают между собой, но периоды погрешностей чуть-чуть больше периодов пульсаций, что

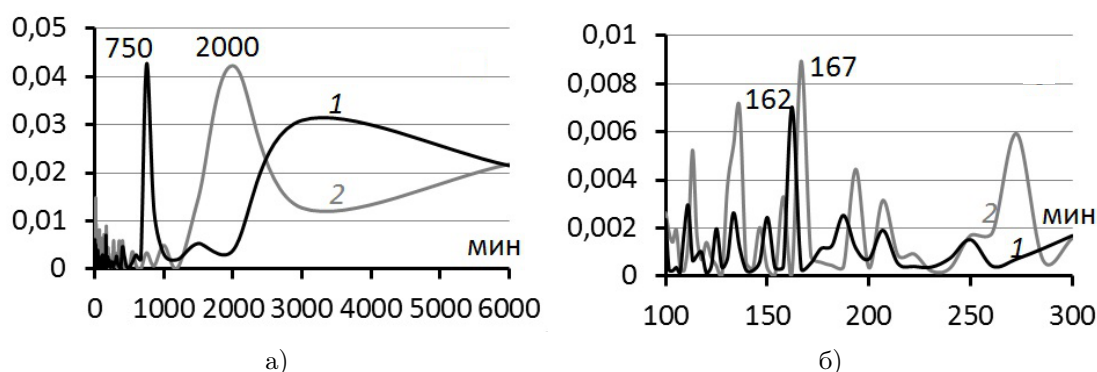


Рис. 3. Периодограмма спектральной плотности мощности пульсации (1) и среднеквадратической погрешности измерений (2): а) периодограмма для интервала 0–6 000 мин.; б) периодограмма для интервала 100–300 мин.

свидетельствует о том, что пульсации определяют величину погрешностей. Следует обратить внимание на периоды 162 мин. (пульсации) и 167 мин. (погрешности). Примерно такой же период (160 мин.) получен Северным А. Б. [8] при изучении собственных колебаний Солнца. Правда, последующие исследования с более точной аппаратурой показали, что период собственных колебаний Солнца может изменяться на несколько минут в ту или другую сторону, что обусловлено модуляцией Солнца, связанной с собственным вращением вокруг своей оси (около 27 сут.) [8].

Нельзя также забывать, что собственные колебания ядра Земли имеют период 330–340 мин. [9], что ровно в два раза больше указанного периода для пульсаций. Могут ли вызвать пульсации гравитационного поля собственные колебания ядра Земли после катастрофических землетрясений? Исследования показывают [9], что основным периодом собственных колебаний служит часовой период. Кроме того, перед пульсациями не происходит землетрясений.

Автором проанализировано распределение пульсаций по годам. На рис. 2 приведена пульсация для конца января 2015 г. На рис. 4 приведены пульсации на конец января 2014, 2013, 2010 гг. Пульсации за это время совпадают между собой с разницей в два-три дня. Налицо существование повторяемости пульсаций с периодом в один год. Такая периодичность может быть связана с метеорными потоками [10]. В данном конкретном случае с метеорным потоком Альфа Кариниды. На рис. 5 приведены пульсации на начало января за 2012 и 2015 гг., которые связаны с потоком

ми Квадрантидов (1–8 января). Пульсации в указанное время отмечаются в течении шести лет. На рис. 5 пульсации совпадают в начале января, а вот в промежутке 25–29 декабря (метеорный поток Уриды) в одном случае интенсивная пульсация (2012 г.), а в другом — пульсации практически нет (2015 г.).

Далее представлено распределение пульсаций (рис. 6) за зимне-весенний период 2015 г. Пульсации активно проявляются в зимний период, а к весне начинают исчезать. В апреле наблюдалась лишь одна пульсация во время Непальского катастрофического землетрясения (25 апреля 2015 г.). В мае–августе пульсации практически не наблюдаются. За весь шестилетний период наблюдений лишь однажды (2012 г.) удалось зафиксировать небольшую пульсацию, связанную с метеорным потоком Персеид (рис. 7).

Теперь попытаемся объяснить возможную роль метеорных потоков в генерировании пульсаций гравитационного поля Земли. Прежде всего, активная роль метеорных потоков подтверждается многолетней периодичностью пульсаций, совпадающей с периодичностью метеорных потоков.

Что же является причиной пульсаций неприливных вариаций силы тяжести? Выше уже отмечалось [2], что пульсации могут быть откликом на удар магнитосфере Земли корональных выбросов масс Солнца. Однако пульсациям не всегда предшествуют корональные выбросы масс. Какие еще явления могут вызвать удар по Земле? Землетрясения не могут порождать пульсации. Вероятной силой, возможной вызвать удар, остаются только метеорные потоки, несущие частицы

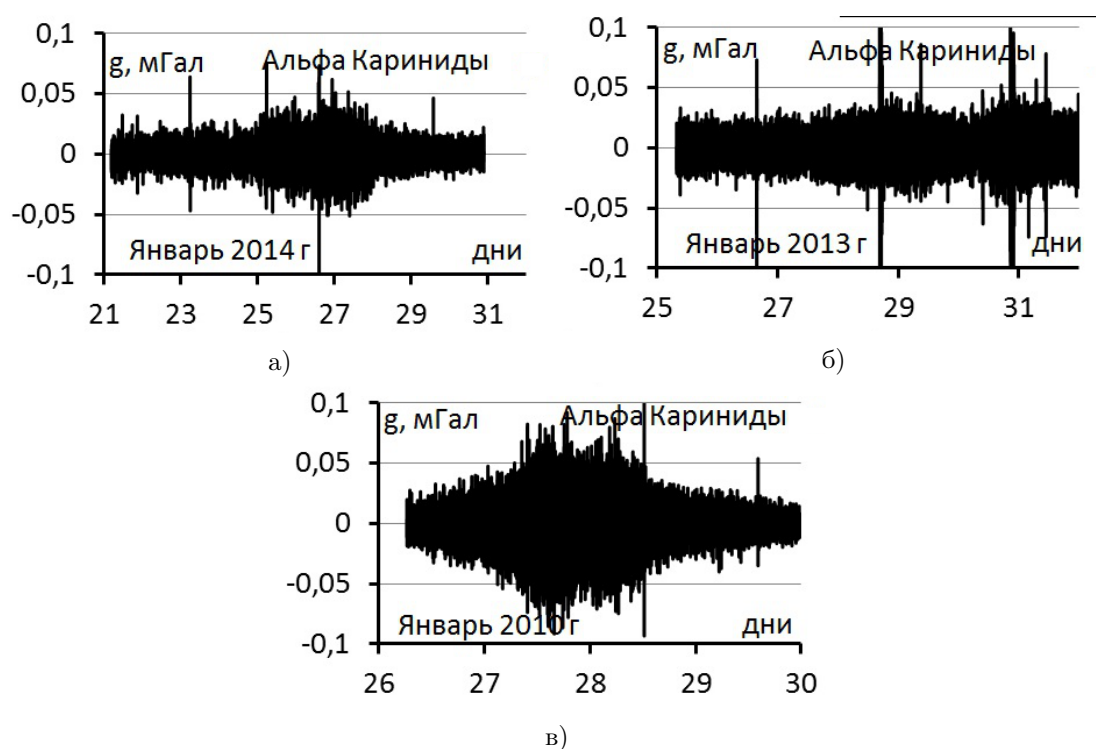


Рис. 4. Характер пульсаций силы тяжести в конце января месяца разных лет: а) период с 21 по 31 января 2014 г.; б) период с 25 по 31 января 2013 г.; в) период с 26 по 30 января 2010 г.

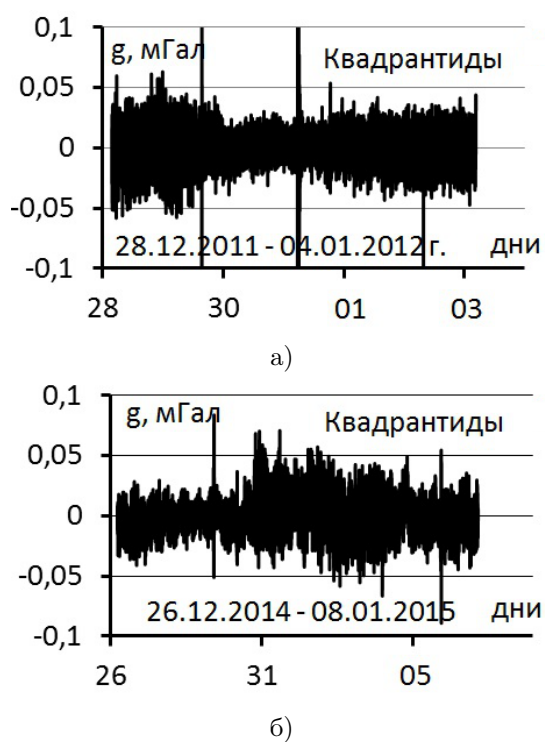


Рис. 5. Характер пульсаций силы тяжести, связанных с метеорным потоком Квадрантидов в начале января: а) период с 28 декабря 2011 г. по 3 января 2012 г.; б) период с 26 декабря 2014 г. по 8 января 2012 г.

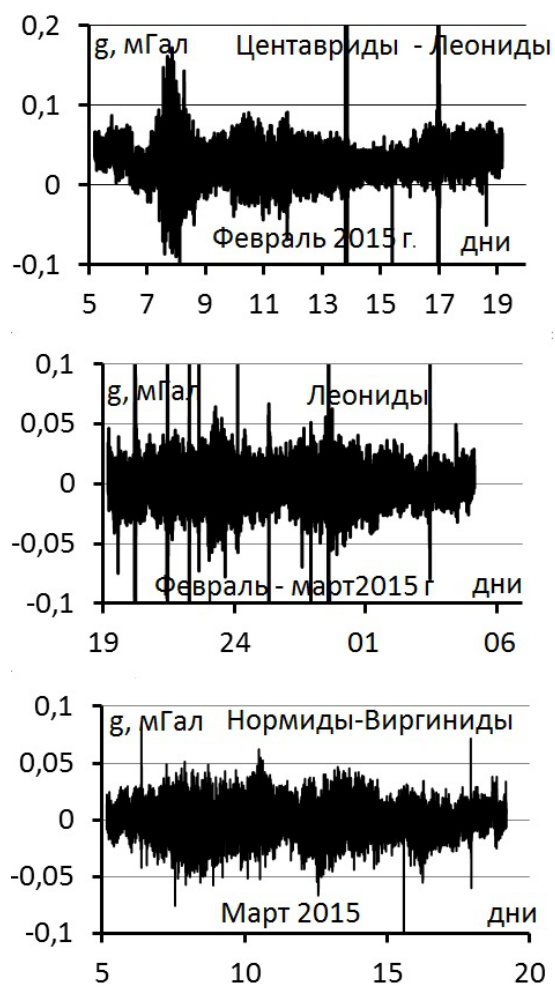


Рис. 6. Характер пульсаций силы тяжести в феврале – марте 2015 г.

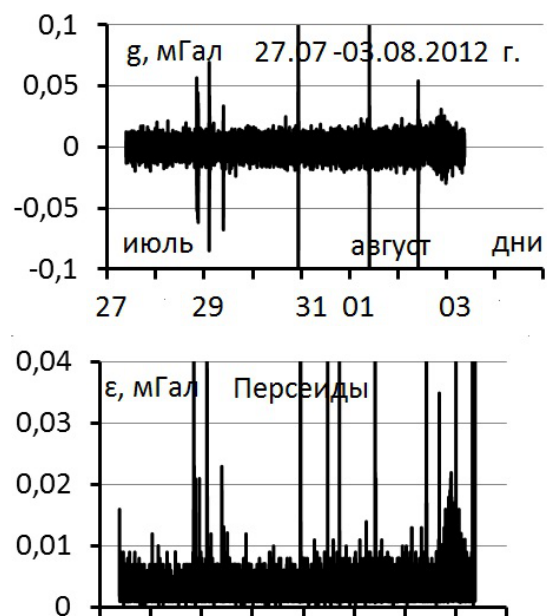


Рис. 7. Характер пульсаций силы тяжести в июле – августе 2015 г.

пыли, газа и даже крупные астероиды. Хотя скорость метеорных потоков отличается от скорости плазменных потоков Солнца на один-два порядка, но плотность метеорных потоков на несколько порядков превышает плотность плазменных потоков, по импульсу действия солнечные и метеорные потоки видимо сопоставимы. Ведь импульс силы удара определяется произведением массы и скорости. Дополнительно отметим, что удары корональных выбросов и метеорных потоков суть разные вещи: корональные выбросы ударяют по магнитосфере, а метеорные потоки — по атмосфере.

Большая часть метеорного вещества в Солнечной системе обращается вокруг Солнца по определенным орбитам. Характеристики орбит метеорных роев могут быть рассчитаны по наблюдениям метеорных следов. Таким способом было показано, что многие метеорные рои имеют те же самые орбиты, что и известные кометы. Частицы могут быть распределены по всей орбите или сконцентрированы в отдельных скоплениях. В частности, молодой метеорный рой может долго оставаться сконцентрированным около родительской кометы. Когда при своем движении по орбите Земля пересекает такой рой, в небе наблюдается метеорный поток. В действительности метеоры порождаются частицами вещества, входящими в верхние слои атмосферы. При этом множество метеоров наблюдаются в течение ограниченного периода (обычно несколько часов или дней). Известно много ежегодных потоков, хотя только некоторые из них порождают метеорные дожди. Очень редко Земля сталкивается с особенно плотным роем частиц, тогда может возникнуть исключительно сильный поток с десятками или сотнями метеоров каждую минуту. Обычно хороший регулярный поток дает около 50–100 метеоров в час. В дополнение к множеству регулярных метеорных потоков в течение года наблюдаются и спорадические метеоры. Они могут прийти с любого направления.

Наиболее интенсивные метеорные потоки идут в декабре и начале января, в конце июля и августе. Это так называемые потоки Квадрантидов, Персеид и Геменид, которые характеризуются наибольшим зенитным часовым числом (около 100 единиц). Зенитное число — количество вспышек метеоров в час. К средним потокам относятся Аквариды (июль–август), Ориониды (октябрь), Таури-

ды (начало ноября) и Леониды (конец ноября). Естественно, при столкновении Земли с указанными метеорными потоками следует ожидать возникновения пульсации с наибольшими амплитудами, соответствующими зенитному числу наибольшему. Однако мы не всегда наблюдаем это. Например, Квадрантидам (рис. 5а) соответствует пульсация непреливной вариации силы тяжести в начале января. Эта пульсация повторяется каждый год с меньшей или большей интенсивностью. А вот Персеидам за шестилетний период, как уже отмечалось выше, не соответствует ни одна из пульсаций, хотя в летние августовские ночи наблюдается самый значительный звездопад. Можно также вернуться к рис. 2–5, где показаны пульсации за январь – март месяцы. Эти месяцы отмечаются наименьшим количеством метеорных потоков (3–8 ед.). А что мы наблюдаем? Пульсации с середины января по март имеют наибольшие амплитуды и наблюдаются из года в год, по крайней мере, за рассматриваемый период. Например, на рис. 6 мощные пульсации первой декады февраля связаны с метеорными потоками Альфа, Тэта Центавридами, зенитное часовое число которых равно примерно 5 единицам против 120 единиц у Персеид.

Какие варианты возможны для объяснения подобной ситуации. Если принять, что метеорные потоки не вызывают пульсаций, почему тогда пульсации повторяются каждый год именно в период определенных метеорных потоков? Возможны ли другие причины? Возможны. Тогда следует их искать. Расхождение в амплитудах пульсаций для метеорных потоков с большим и малым зенитным часовым числом можно объяснить следующим образом. Во-первых, столкновение Земли с метеорными поясами может происходить под разными углами: метеорные потоки могут быть как встречными, так и догоняющими. Во-вторых, плотность метеорного потока с малым зенитным числом может быть больше, чем у потока с большим зенитным числом. Ведь зенитное часовое число определяется числом сгоревших частиц за час времени. Как правило, сгорают в атмосфере и оставляют световой след на небосклоне наиболее крупные частицы. Но наличие крупных частиц в метеорном потоке еще не определяет плотности метеорного потока. В-третьих можно предположить, что пульсации вызваны не колебаниями самой Земли, а ее атмосферы в

целом. В осенне-зимний период в атмосфере имеется повышенная концентрация воды. После удара метеорного потока атмосфера начинает пульсировать вместе с массами воды в приземном слое, оказывая влияние изменение силы тяжести [11].

Ранее автором [2, 5, 7] рассматривалась возможность образования пульсаций за счет корональных выбросов масс. Но здесь природа образований колебаний в Земле уже другая. Вариации магнитотеллурического поля связаны напрямую с деятельностью Солнца. Предполагается, что в плазме, окружающей Солнце, поток заряженных частиц возбуждает магнитогидродинамические волны, которые, достигая ионосферы, превращаются не только в электрические волны, но и в результате динамического удара вызывают упругие колебания в Земле. За счет явления скин-эффекта более высокочастотные колебания магнитотеллурического поля довольно быстро затухают с глубиной, в то время как низкочастотные компоненты поля проникают на большие глубины. С понижением частоты вклад более глубоких частей разреза в наблюдаемое поле возрастает, и мы получаем информацию о глубинной части геоэлектрического разреза.

Заключение

Таким образом, корональные выбросы масс и метеорные потоки в какой-то мере оказывают влияние на возникновение пульсаций неприливных вариаций силы тяжести. Механизм образования пульсаций не совсем ясен. Тем не менее, изучение пульсаций необходимо для выполнения высокоточных гравиметрических измерений и для построения геологической модели земной коры, а также для оценки динамических характеристик метеорных потоков и для определения возможных колебаний атмосферы.

Литература

1. Антонов Ю.В. Пульсации неприливных вариаций силы тяжести // Изв. вузов. Геология и разведка. 2014. № 5. С. 54–57.
2. Антонов Ю.В. Структура и морфология неприливных вариаций силы тяжести // Геофизика, 2015. № 1. С. 67–71.
3. Антонов Ю.В., Воронцова Е.В. Предварительная обработка наблюдений лунно-солнечных вариаций силы тяжести // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 3. С. 63–67.

4. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сравнение приливных вариаций силы тяжести и вертикальной составляющей сейсмографа // Геофизика. 2013. № 2. С. 27–31.
5. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю., Рыбин А.К., Щелочков Г.Г. Модуляция вариаций вертикального градиента силы тяжести и электромагнитного поля собственными колебаниями Земли // Изв. вузов. Геол. и разведка. 2010. № 6. С. 101–105.
6. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Запаздывание приливной волны на суше // Геофизика, 2013, № 6. С. 48–51.
7. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю., Рыбин А.К. Вариации гравитационного и магнитотеллурического полей // Вестник ВГУ. Серия Геология. 2013. Вып. 2. С. 129–133.
8. Воронцов С.В., Жарков В.Н. Собственные колебания Солнца и планет-гигантов // Успехи физических наук. 1981. Т. 134. С. 675–710.
9. Собственные колебания Земли // Под ред. В.Н. Жаркова. М.: Мир, 1964. 342 с.
10. Метеоры. Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1969–1978. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/108682/> (дата обращения 8.09.2015).
11. Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 195 с.

References

1. Antonov Yu.V. Pul'satsii neprilivnykh variatsiy sily tyazhesti [Ripple tidal gravity variations]. *Izvetia vuzov. Geologiya i razvedka* [Proc. of the Universities. Geology and Exploration], 2014, no. 5, pp. 54–57. (In Russian)
2. Antonov Yu.V. Struktura i morfologiya neprilivnykh variatsiy sily tyazhesti [The structure and morphology of the tidal gravity variations]. *Geofizika* [Geophysics], 2015, no. 1, pp. 67–71. (In Russian)
3. Antonov Yu.V., Vorontsova E.V. Predvaritel'naya obrabotka nablyudeniy lunno-solnechnykh variatsiy sily tyazhesti [Pre-treatment observation lunisolar variations of gravity]. *Izvetia vuzov. Geologiya i razvedka* [Proc. of the Universities. Geology and Exploration], 2012, no. 3, pp. 63–67. (In Russian)
4. Antonov Yu.V., Antonova I.Yu. Sravnenie prilivnykh variatsiy sily tyazhesti i vertikal'noy sostavlyayushchey seysmografa [Compare tidal variations of gravity and the vertical component seismograph]. *Geofizika* [Geophysics], 2013, no. 2, pp. 27–31. (In Russian)
5. Antonov Yu.V., Antonova I.Yu., Rybin A.K., Shchelochkov G.G. Modulyatsiya variatsiy vertikal'nogo gradienta sily tyazhesti i elektromagnitnogo polya sobstvennymi kolebaniyami Zemli

- [Modulation of variations of the vertical gradient of gravity and electromagnetic field oscillations of the Earth]. *Izvetia vuzov. Geologiya i razvedka* [Proc. of the Universities. Geology and Exploration], 2010, no. 6, pp. 101–105. (In Russian)
6. Antonov Yu.V., Antonova I.Yu. Zapazdyvanie prilivnoy volny na sushe [The delay of the tidal wave on land]. *Geofizika* [Geophysics], 2013, no. 6, pp. 48–51. (In Russian)
 7. Antonov Yu.V., Antonova I.Yu., Rybin A.K. Variatsii gravitatsionnogo i magnitotelluricheskogo poley [Variations of the gravity and magnetotelluric fields]. *Vestnik VGU. Seriya Geologiya* [Bull. of the Voronezh State University. Series Geology], 2013, iss. 2, pp. 129–133. (In Russian)
 8. Vorontsov S.V., Zharkov V.N. Sobstvennye kolebaniya Solntsa i planet-gigantov [Natural oscillations of the Sun and the giant planets]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of physical sciences], 1981, vol. 134, pp. 675–710. (In Russian)
 9. Zharkova V.N. (Ed.) *Sobstvennye kolebaniya Zemli* [Natural oscillations of the Earth]. Moscow, Mir Publ., 1964, 342 p. (In Russian)
 10. Meteory [Meteors]. *Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya* [The great Soviet encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1969–1978. Available at: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/108682/> (accessed 8.09.2015). (In Russian)
 11. Dikiy L.A. *Teoriya kolebaniy zemnoy atmosfery* [Theory of oscillations of Earth's atmosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969, 195 p. (In Russian)

Статья поступила 8 сентября 2015 г.

© Антонов Ю. В., 2015