

**ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА  
СИЛЫ ТЯЖЕСТИ****Ю. В. Антонов***Воронежский государственный университет**Поступила в редакцию 28 февраля 2012 г.*

**Аннотация.** *Вариации силы тяжести вертикального градиента измеряются с помощью гравиметра. Провести измерения силы тяжести одновременно на двух высотах одним гравиметром невозможно. Поэтому измеренные вариации являются трансформантами собственных колебаний Земли.*

**Ключевые слова:** *вариации силы тяжести, вариации вертикального градиента.*

**Abstract.** *Variations of the vertical gradient of gravity measured by the gravimeter. To measure the force of gravity at two altitudes, one can not gravimeter. Therefore, the measured variations are transformants of natural oscillations of the Earth.*

**Key words:** *gravity variations, the variations of vertical gradient*

На территории Воронежского кристаллического массива уже на протяжении более двух десятилетий проводятся измерения вертикального градиента силы тяжести [1–5]. Вертикальный градиент определяется разностью силы тяжести на двух высотах, поделенной на разность высот. Измерения силы тяжести выполняются с помощью гравиметра. Первые же контрольные замеры показали, что среднеквадратичная погрешность измерений не соответствует теоретическим расчетам. Так что для получения результата со среднеквадратичной погрешностью измерений в пределах  $\pm(10-15)$  этвеш требуется намного больше наблюдений, чем это предполагалось. Для достижения указанной погрешности на пункте измерения фактически требуется около часа времени (10–20 отсчетов).

Стационарные наблюдения вертикального градиента показали, что отклонения измерений от среднего значения носят не только случайный характер. Почти всегда отмечаются закономерные изменения вертикального градиента. Причем амплитуда закономерных колебаний чаще всего в несколько раз превышает амплитуду случайных отклонений. В частности, это было показано в [1], где приведены наблюдения до и после Тбилисского и Молдавского землетрясений. Там же было показано, что перед землетрясениями увеличивается амплитуда изменения отсчетов во времени

относительно среднего значения, и было высказано предположение о связи этих изменений с собственными колебаниями Земли. Предположение это было основано на том, что со времени обнаружения собственных колебаний Земли [6] считалось, что они вызываются сильными землетрясениями. Такая точка зрения существует давно, и она собственно оставалась долго неизменной, что определялось погрешностью измерений. Приборы были относительно грубые, поэтому гравиметрами и сейсмографами фиксировались собственные колебания достаточно большой амплитуды, и следовательно колебания большой амплитуды могли возникать только после сильных землетрясений. Несколько позже при анализе синхронных измерений вертикального градиента в Воронеже и Якутске [2, 3] было установлено, что вариации вертикального градиента во времени идентичны, но главное, что они существуют вне зависимости от наличия землетрясений, а во время землетрясений собственные колебания увеличивают свою амплитуду.

Разберемся в сути вопроса измерений вертикального градиента. Градиентометров, позволяющих измерять непосредственно вертикальный градиент, до сих пор не существует. Все остальные вторые производные потенциала силы тяжести успешно измеряются и достаточно быстро. Вертикальный градиент определяется только с помощью гравиметра путем измерения силы тяжести на двух уровнях. Поскольку между измерениями силы тяжести вверху и внизу проходит некоторое время,

то в измерениях вверху (пусть первое измерение взято внизу) включено не только приращение силы тяжести за вертикальный градиент, но и за сползание нуля-пункта гравиметра. Кроме того, в показаниях гравиметра отражается динамическое состояние земных недр, включая Землю в целом, так как гравиметр является сейсмографом Голицина. Значения гравиметра в первых двух точках можно записать следующим образом

$$g_1(t_1) = g_0 + R_1 + \delta(t_1), \quad (1)$$

$$g_2(t_2) = g_0 + hV_{zz} + R_2 + \delta(t_2), \quad (2)$$

где  $g_1(t_1)$  и  $g_2(t_2)$  – значения силы тяжести на нижнем и верхнем уровне;  $h$  – разность высот между уровнями;  $V_{zz}$  – значение вертикального градиента, равное сумме нормального и аномального градиентов;  $R_1$  и  $R_2$  – сползание нуля-пункта;  $\delta(t_1)$  и  $\delta(t_2)$  – динамическая составляющая на соответствующий момент времени.

Чтобы учесть сползание нуля-пункта, необходимо после замера наверху сделать дополнительный замер внизу

$$g_3(t_3) = g_0 + R_3 + \delta(t_3), \quad (3)$$

где  $g_3(t_3)$  – значение силы тяжести на нижнем уровне в момент времени  $t_3$ .

В результате решения указанных трех равенств получим значение вертикального градиента

$$\begin{aligned} V_{zz}(t_2) &= (2g_2(t_2) - g_1(t_1) - g_3(t_3)) / 2h = \\ &= V_{zz} + (2R_2 - R_1 - R_3) / 2h + (2\delta(t_2) - \delta(t_1) - \\ &\quad - \delta(t_3)) / 2h. \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая, что отрезки времени между измерениями силы тяжести малы (2–5 мин) и равны, а смещение нуля-пункта на столь малом временном отрезке практически линейно, то разность

$$(2R_2 - R_1 - R_3) / 2h = 0. \quad (5)$$

Тогда в общем случае выражение для измеряемого градиента силы тяжести может быть записано в виде

$$V_{zz}(t) = V_{zz} + \delta(t) / 2h, \quad (6)$$

где  $\delta(t)$  – по существу является численным аналогом второй производной от силы тяжести по времени. Эта функция аналогична функции способа вариаций (способ Саксова-Ниигарда), применяемого широко при интерпретации гравиметрических аномалий.

Следовательно, то, что мы принимали ранее за вариации вертикального градиента, на самом деле являются вариациями силы тяжести во времени [1–5] и определяется динамической составляющей Земли. Если бы это были вариации вертикального градиента, то исходя из полученных значений  $V_{zz}$ , которые получаем при реальных измерениях, согласно предельным формулам для вторых производных потенциала силы тяжести плотность аномальных тел должна изменяться в пределах 0–0,5 г/см<sup>3</sup>, что не имеет под собой никакого физического обоснования. Значение нормального градиента тоже не может изменяться [5].

Динамическая часть вариаций определяется прежде всего собственными колебаниями Земли, землетрясениями и приливными эффектами Луны и Солнца. Поскольку лунно-солнечные изменения силы тяжести согласно формуле (5) практически не влияют (легко проверяется расчетами) на измеряемые вариации  $\delta(t)$ , то основным источником вариаций  $\delta(t)$  служат собственные колебания Земли. Землетрясения оказывают очень большое влияние, но временной интервал их не велик.

Встает также вопрос: а что же мы измеряем при проведении съемки вертикального градиента? Можно ответить на этот вопрос утвердительно, что мы измеряем вертикальный градиент с какой-то помехой  $\delta(t)$  за счет динамической активности Земли. Теперь становятся понятными результаты контрольных измерений градиента [1–5], которые не согласовывались с техническими характеристиками гравиметров. Чтобы избавиться от влияния помехи  $\delta(t)$ , к сожалению, надо увеличивать время наблюдений. Достаточно длинный интервал измерений позволяет компенсировать динамические и технические помехи. Для более полного учета динамических помех необходимо проводить наблюдения на стационарном гравиметре.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю. В. Неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести и их возможная связь с землетрясениями / Ю. В. Антонов, С. В. Слюсарев // Изв. вузов. Геол. и разведка. – 1992. – № 5. – С. 105–110.
2. Антонов Ю. В. Возможная природа вариаций вертикального градиента силы тяжести / Ю. В. Антонов, А. В. Манаков, С. В. Слюсарев // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 144–145.
3. Антонов Ю. В. Результаты синхронных наблюдений за изменением вертикального градиента в Якутии и на Воронежском массиве / Ю. В. Антонов, С. В. Слюсарев

сарев, В. Н. Чирков // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 1996. – № 2. – С. 182–186.

4. Антонов Ю. В. Неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести / Ю. В. Антонов, С. В. Слюсарев, В. Н. Чирков // Геофизика. – 1997. – № 1. – С. 50–56.

5. Антонов Ю. В. Природа аномалий вертикального градиента силы тяжести юго-восточной части Воронежского кристаллического массива / Ю. В. Антонов, К. Ю. Силкин, К. С. Черников // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2006. – № 6. – С. 33–37.

6. Собственные колебания Земли / [под ред. Г. М. Жаркова]. – М. : Мир, 1964. – 315 с.

*Воронежский государственный университет  
Ю. В. Антонов, профессор кафедры геофизики  
Тел. 8 (473) 220-83-85  
yuriyantono@yandex.ru*

*Voronezh State University  
Yu. V. Antonov, professor of Chair of Geophisic  
Tel. 8 (473) 220-83-85  
yuriyantono@yandex.ru*