

**РЕЗУЛЬТАТЫ СИНХРОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЛУННО-СОЛНЕЧНЫХ
ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ШИРОТАХ
(САРАТОВ И БИШКЕК)****Ю. В. Антонов, И. Ю. Антонова, Е. Н. Волкова****Воронежский государственный университет***Саратовский государственный университет**Поступила в редакцию 1 марта 2010 г.*

Аннотация. В статье проанализированы синхронные записи лунно-солнечных вариаций силы тяжести. Записи выполнялись в городах Бишкек (Киргизия) и Саратов (Россия). Расчетные вариации силы тяжести в Бишкеке имеют большие амплитуды изменений, но меньшее влияние приливного эллипсоида. По остаточным аномалиям сделан вывод, что подъем приливной волны запаздывает по отношению прохождения небесных светил.

Ключевые слова: притяжение Луны и Солнца, вариации силы тяжести, упругость Земли.

Abstract. In clause synchronous records of moon-solar variations of a gravity are analysed. Records were carried out in the cities of Bishkek (Kirghizia) and Saratov (Russia). Settlement variations of a gravity in Bishkek have greater amplitudes of changes, but smaller influence tidal of ellipse. On residual anomalies it is drawn a conclusion, that rise of a tidal wave is late under the attitude of passage of heavenly bodies.

Key words: attraction of the Moon and the Sun, variation of a gravity, elasticity of the Earth

Изменения геофизических полей Земли (гравитационное, электромагнитное, сейсмическое и др.) во времени всегда привлекали большое количество исследователей к их изучению. В зависимости от решаемых задач вариации естественных геофизических полей служат или помехами, или наоборот источниками для изучения геологического строения земной коры и строения Земли в целом. Причем эти источники (исключая запрещенные ядерные взрывы) являются единственным средством познания строения Земли глубже мантии. Источники возбуждения могут находиться как внутри, так и вне Земли. К внешним источникам относятся в частности электромагнитные процессы, происходящие в ионосфере Земли, и движение планет солнечной системы и самого Солнца. Магнито-теллурические измерения в настоящее время достаточно широко используются при изучении глубинного строения земной коры. Влияние же притяжения Луны и Солнца (остальные тела солнечной системы оказывают пренебрежительно малое влияние) для изучения внутреннего строения Земли, кроме как в астрономии [1], практически не рассматривалось.

В настоящее время начинает возрождаться интерес к изучению лунно-солнечных вариаций и возможному использованию вариаций при изучении геологических процессов, происходящих в земной коре [2–5]. Во многих астрономических обсерваториях мира и России проводятся мониторинговые измерения лунно-солнечных вариаций силы тяжести, но они в комплексе со сейсмологическими данными используются преимущественно с целью прогноза землетрясений [5] и определения добротности земной коры и некоторых других характеристик Земли в целом.

Для выяснения возможности использования лунно-солнечных вариаций силы тяжести в изучении геологических особенностей земной коры нами были проведены синхронные наблюдения вариаций силы тяжести в течение двух месяцев в городах Саратов (Саратовский госуниверситет) и Бишкек (Киргизия, Научная станция РАН). Наблюдения проводились однотипными гравиметрами Scintrex CG-5 Autograf. В Бишкеке гравиметр располагался в штольне с постоянной температурой +8° на расстоянии от города в 30 км. Наблюдения проводились с интервалом 12 с, а затем при обработке наблюдения осреднялись с определенным интервалом в зависимости от поставленных задач и нужной

дискретизации данных. Следует отметить, что качество наблюдений очень высокое (около 0,001 мГал). Естественными помехами были только сейсмические события, которые четко фиксируются гравиметром, являющимся маятником Голицина. В Саратове гравиметр располагался в здании университета, поэтому качество материала хуже, чем в Бишкеке, но тем не менее по этим материалам можно получить качественно надежное представление о лунно-солнечных вариациях силы тяжести.

Прежде чем переходить к обсуждению результатов, остановимся на описании притяжения Земли Луной (Солнцем) и сути измеряемого притяжения. Обратимся к рис. 1, где круг обозначает Землю с массой m и центром O , R – радиус Земли, ρ – расстояние до притягивающего небесного тела, M – масса Луны (Солнца), Z – угол между направлениями на зенит и Луну (Солнце). Если на все точки Земли действуют какие-либо внешние силы, например вызванные притяжением другого небесного тела, то их действие будет двояким. Считая

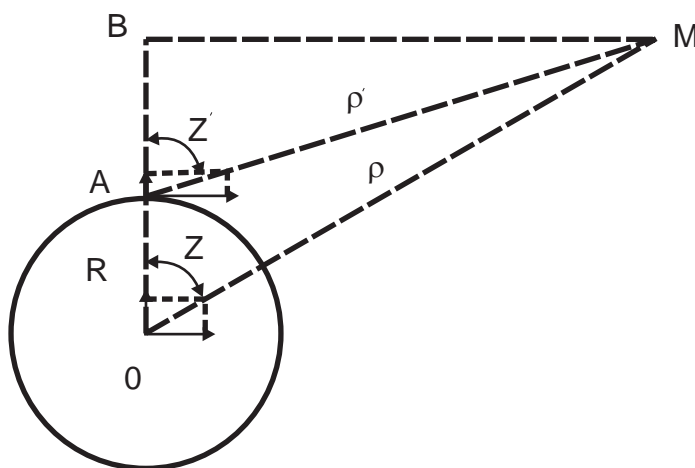


Рис. 1. Схема лунно-солнечных вариаций силы тяжести

Землю за твердое тело, силы сообщат некоторое ускорение центру массы Земли, которое проявится в том, что Земля изменит свое движение в пространстве. С другой стороны, неодинаковость сил по величине и направлению для всех точек Земли вызовет относительные ускорения различных ее точек по отношению к центру массы. Только лишь последнее действие окажет влияние на силу тяжести, которая вызывает ускорения, наблюдаемые нами по отношению к Земле. Отсюда можно заключить, что сила тяжести претерпевает изменение разности притяжений внешнего тела на данную точку и на центр масс Земли. Потому указанную разность можно записать так:

$$\delta g = fm(\cos Z/\rho^2 - \cos Z'/\rho'^2). \quad (1)$$

Учитывая, что $AB = OB - OA$ и $\rho' \cos Z' = \rho \cos Z - R$, а расстояние до небесного тела выражается через горизонтальный экваториальный параллакс p ($\rho = R/\sin p$), получим окончательную формулу

$$\delta g = g(m/M)\sin^3 p(1 - \cos^2 Z), \quad (2)$$

где g – среднее значение силы тяжести для Земли.

Таким образом, притяжение небесного тела определяется в основном углом Z и параллаксом p . Казалось бы, достаточно простая формула, но она требует очень серьезных вычислений. Вследствие суточного вращения Земли и движения Земли, Луны и Солнца по своим орбитам приливообразующая сила в каждой точке на поверхности Земли непрерывно меняется во времени, никогда не повторяясь. Однако приливные силы можно представить как сумму большого числа строго периодических составляющих, определяемых из теории движения Луны вокруг Земли и Земли вокруг Солнца. Например, таблицы, составленные английским ученым Д. Картрайтом (1973), содержат около 500 членов. Параллакс Солнца меняется в течение года достаточно медленно, а вот для Луны эти изменения имеют месячный период.

Угол $\cos Z$ определяется формулой

$$\cos Z = \cos \varphi \cos \delta \cos t + \sin \varphi \sin \delta, \quad (3)$$

где φ – широта пункта наблюдения; δ – склонение Луны (Солнца), а роль долготы в данном случае выполняет так называемый часовой угол t , который определяется по формуле

$$t = T - (n - 1) + \lambda - 12 + \eta, \quad (4)$$

где T – момент наблюдения по декретному поясному времени n ; λ – географическая долгота пункта. В эфемеридах Солнца на начало каждых суток дано так называемое уравнение времени η , которое возникает за счет вращения Земли вдоль собственной оси при одновременном движении Земли по эллиптической орбите вокруг Солнца.

В настоящее время дело с вычислением приливных вариаций силы тяжести от Луны и Солнца обстоит более или менее благополучно [6]. Погрешность вычислений в конкретных программах зависит от удерживаемых членов разложения при определении склонения Луны и Солнца. В частности в гравиметрах Scintrex CG-5 Autograf используются формулы из [7], заслуживающие доверия при сравнении с другими программами. Большинство любительских программ не выдерживают никакой критики.

При выводе формул притяжения Луны и Солнца принималось, что Земля представляет собой абсолютно твердое тело. Однако земной шар хоть и обладает значительной твердостью, тем не менее деформируется, и подъем приливной волны составляет около полуметра, что в два-три раза меньше приливной океанической волны [1]. Что касается влияния неполной твердости Земли на возмущения вертикальной составляющей силы тяжести, то оно проявляется довольно сложным образом. Во-первых, деформация Земли вызывает изменения потенциальной функции силы тяжести, поскольку такая деформация меняет расположение масс Земли, что вносит дополнительное возмущение противоположного знака в вертикальную составляющую. Но кроме этого деформация переносит точку наблюдения с одной уровенной поверхности на другую и этим усиливает действие прямого возмущения, даваемого формулой (2). Оба эти влияния почти нейтрализуют друг друга, но все же их сумма на несколько процентов увеличивает выведенную величину вариаций. По данным [1] увеличение вариаций может достигать до 20 % и это увеличение зависит от чисел Лява, определяемых упругостью Земли.

Периодические приливные силы разделяются на 4 типа. Долгопериодные приливы дают наибольшие колебания уровенной поверхности на полюсах,

вдвое меньшие на экваторе и нулевые на широтах $\pm 35,3^\circ$. К ним относятся приливы с периодами в 18,6 года, 1 год, 0,5 года, 1 месяц и 2 недели (Mf). Эти приливы периодически изменяют сжатие Земли, ее полярный момент инерции и угловую скорость вращения Земли. Суточные приливы возникают вследствие несовпадения плоскости экватора с плоскостью лунной орбиты и плоскостью эклиптики. Они дают наибольшие поднятия и опускания земных приливов на широтах $\pm 45^\circ$ и нулевые на полюсах и экваторе. Главные из них – лунная волна O1 с периодом 25,8 ч и лунно-солнечная волна K1 с периодом в 23,9 ч. Полусуточные приливы дают максимальные поднятия и опускания для статических приливов на экваторе и нулевые на полюсах. Главные полусуточные волны – это лунная волна M2 с периодом в 12,4 ч и приблизительно в 2 раза меньшая солнечная волна S2 с периодом в 12 ч. Короткопериодные волны с периодами около 1/3 суток и короче.

На рис. 2 представлены приливные вариации за 03–06 декабря 2009 г. Для удобства сравнения они сдвинуты на два часовых пояса. Расстояние между Саратовом и Бишкеком равно 30° . Мы видим, что амплитуда вариаций силы тяжести в Бишкеке (широта 42°) почти в два раза превосходит амплитуду вариаций в Саратове, что согласуется с вышеизложенным о приливах.

Кстати, приведенные вариации на рис. 2 записаны с отключением функции учета лунно-солнечных вариаций, которая присутствует в современных гравиметрах. После этого были исключены теоретические значения вариаций силы тяжести (рис. 3). Практически остаточные вариации чрезвычайно малы, что тоже согласуется с теорией расчетов влияния чисел Лява. Если взять данные по остаточным вариациям из [5], то чем севернее, тем больше амплитуда остаточных вариаций.

Наконец, остановимся на самих остаточных вариациях. Несмотря на достаточно большой интервал осреднения при шаге записи в 12 с (интервал осреднения равен 2 ч), остаточные вариации осложнены погрешностями. Погрешности эти носят не только аппаратный характер, но по большей части, видимо, имеют природное происхождение. Гравиметр является вертикальным маятником Голицина, поэтому он фиксирует все динамические процессы, происходящие в Земле. Кроме того, имеют место короткопериодные вариации силы тяжести, которые сейчас изучены достаточно слабо. Но судить об этом можно после обработки большого фактического материала.

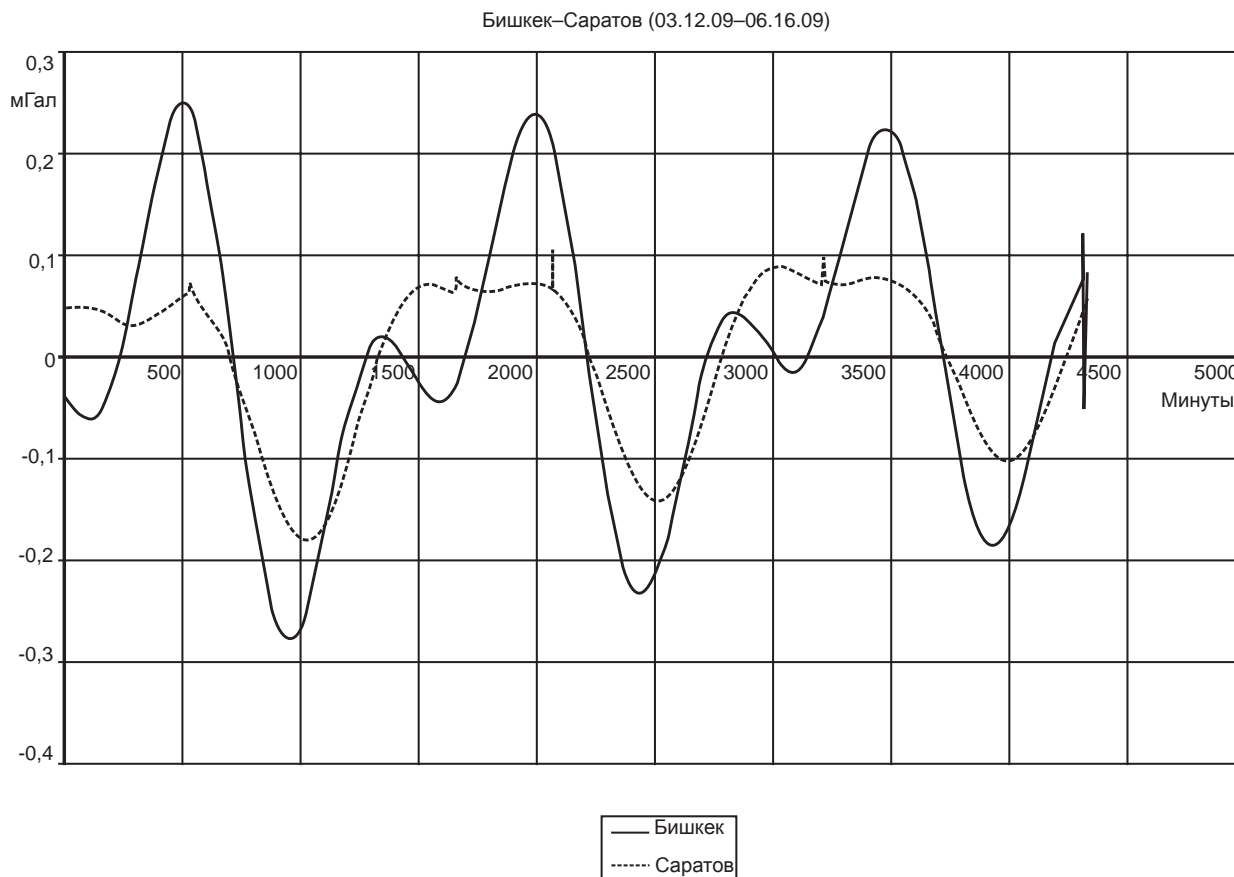


Рис. 2. Лунно-солнечные вариации силы тяжести в Саратове и Бишкеке

Отметим еще одну особенность остаточных вариаций силы тяжести. Хотя и не очень отчетливо, но все-таки просматривается запаздывание остаточных вариаций относительно полусуточных. Видимо, это определяется запаздыванием приливной волны в земной коре относительно движения луны и Солнца.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 08-05-00716а

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов А. Я. Результаты Юрьевских, Томских и Потсдамских наблюдений над лунно-солнечными деформациями Земли. Записки Новороссийского ун-та физ.-мат. факультета / А. Я. Орлов. – Одесса, 1915. – 283 с.
2. 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. 101–105.
3. 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.
4. Антонов Ю. В. Неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести / Ю. В. Антонов, С. В. Слюсарев, В. Н. Чирков // Геофизика. – 1997. – № 1. – С. 40–45.
5. Михайлов И. Н. Гравитационный мониторинг: неожиданные дополнительные эффекты гравитационного поля (G) и дисперсии отсчетов (SD) / И. Н. Михайлов // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и гравитационных полей : материалы 37-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского. – М., 1910. – С. 273–277.
6. Монтенбрук О. Астрономия на персональном компьютере / О. Монтенбрук, Т. Пфлеггер. – М., 2002. – 312 с.
7. Longman I. M. Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun / I. M. Longman // Journal of Geophysical Research. – 1959. – Vol. 64. – № 12.

Рецензент В. Н. Глазнев

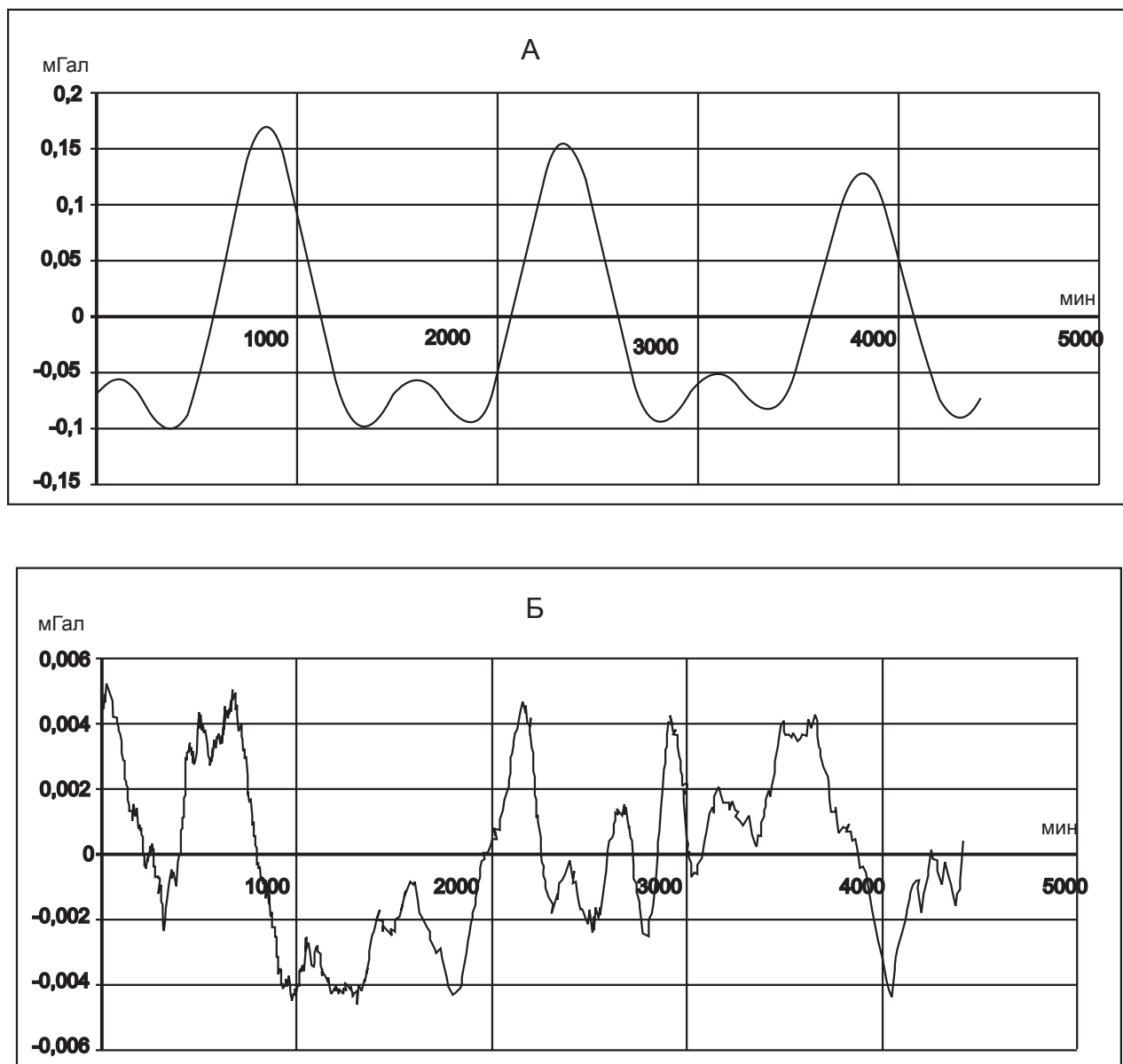


Рис. 3. Остаточное поле силы тяжести после учета лунно-солнечных вариаций: А – теоретические значения вариаций; Б – остаточные вариации силы тяжести

Воронежский государственный университет
Ю. В. Антонов, профессор кафедры геофизики
Тел. 8 (4732) 208-385
yuriyantонов@yandex.ru

Voronezh State University
Yu. V. Antonov, Professor of Chair of Geophisic
Tel. 8 (4732) 208-385
yuriyantонов@yandex.ru

И. Ю. Антонова, преподаватель кафедры геофизики
Тел. 8 (4732) 208-385
antonova@geol.vsu.ru

I. Yu. Antonova, teacher of Chair of Geophisic
Tel. 8 (4732) 208-385
antonova@geol.vsu.ru

Саратовский государственный университет
Е. Н. Волкова, декан геологического факультета,
кандидат геолого-минералогических наук
Тел. 8 (88452) 515-227
volkovaen@info.sgu.ru

Saratov State University
E. N. Volkova, Chefe of Geology Faculty, Candidate
of Geology-Mineralogical Sciences
Tel. 8 (88452) 515-227
volkovaen@info.sgu.ru