

**УЧЕТ НУЛЬ-ПУНКТА ГРАВИМЕТРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ
НАБЛЮДЕНИЙ ЛУННО-СОЛНЕЧНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ****Ю. В. Антонов, Е. В. Воронцова****Воронежский государственный университет***Научная станция РАН (г. Бишкек)**Поступила в редакцию 15 сентября 2011 г.*

Аннотация. В статье изложен способ предварительной обработки лунно-солнечных вариаций силы тяжести. Обсуждается методика более точного определения смещения нуля-пункта гравиметра. Предложенная методика более точно выделяет остаточные аномалии, связанные с внутренним строением и геодинамическими процессами региона. Применение методики показано на примере записей гравиметра на Бишкекском геодинамическом полигоне (Кыргызстан).

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

Abstract. In the article the pretreatment method for observations of lunar and solar gravity variations has been presented. The more accurate procedure for determining zero point drifts of the gravimeter. The proposed method more precisely selects residual anomalies, which are connected with the internal structure and the geodynamic processes of the region. The application of the method has been demonstrated on the gravimeter records, which were carried out on the Bishkek geodynamic site (Kyrgyzstan).

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

Изменения геофизических полей Земли (гравитационное, электромагнитное, сейсмическое и др.) во времени всегда привлекало 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. 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 [5], 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 [1–3]. Во многих астрономических обсерваториях мира и России проводятся мониторинговые измерения лунно-солнечных вариаций силы тяжести, которые в комплексе с сейсмологическими данными используются для прогноза землетрясений, определения добротности земной коры и некоторых других характеристик Земли в целом.

Наряду с решением проблемы по изучению Земли и земной коры возникает ряд методических задач по обработке измерений лунно-солнечных вариаций силы тяжести. На некоторых вопросах обработки остановимся ниже.

Отметим, что в настоящее время дело с вычислением приливных вариаций силы тяжести от Луны и Солнца обстоит достаточно благополучно [7]. 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 же, как профессиональных, так и любительских программ не выдерживают никакой критики [4].

При сравнении синхронных записей лунно-солнечных вариаций силы тяжести в городах Бишкек (Киргизия, Научная станция РАН), Москва, Владивосток, Петропавловск-Камчатский, Алма-Ата (Казахстан) выяснилось, что данные записей разнятся и их необходимо приводить к единому уровню, хотя наблюдения проводились однотипными гравиметрами Scintrex CG-5 Autograf. Сравнение результатов обработки по предлагаемой методике для всех станций дало одинаковые результаты, поэтому ниже приведем результаты обработки по Бишкекскому полигону.

В Бишкеке гравиметр располагается в штольне с постоянной температурой +8 градусов на расстоянии 30 км от города. Наблюдения проводились с интервалом 12 с, а затем при обработке наблюдения подвергались осреднению или фильтрации с определенным интервалом в зависимости от поставленных задач и нужной дискретизации данных. Следует отметить, что качество наблюдений очень высокое (около 0,001 мГал). Наблюдения в других городах намного хуже, что фиксируется дисперсией за цикл измерений, которая (дисперсия) приводится в записи. В приморских городах значительное влияние на погрешность измерений оказывает погода и состояние океана.

Записанные гравиметром лунно-солнечные вариации силы тяжести содержат различного рода помехи, определяемые как конструкционными особенностями прибора, так и колебаниями естественного происхождения, связанными с динамическим состоянием внутреннего состояния Земли в целом.

На рис. 1 представлены данные о приливных вариациях с 28.01 по 04.02 2010 года. Приведенные вариации на рис. 1-а, записаны с отключением функции учета лунно-солнечных вариаций, которая присутствует в современных гравиметрах. В используемом гравиметре имеется отличное термостатирование, и хотя гравиметр находится в штольне с практически постоянной температурой, тем не менее, наблюдается четкое смещение нуля-пункта. Кроме того, в показания прибора вводится поправка за смещение нуля-пункта, рассчитанная теоретически. Для данного прибора смещение нуля-пункта (рис. 1-а) составляет около 0,1 мГал в сутки, что очень хорошо для наземных гравиметрических работ, но недостаточно для точного выделения лунно-солнечных вариаций.

По исходным записям вариаций с помощью метода наименьших квадратов был определен

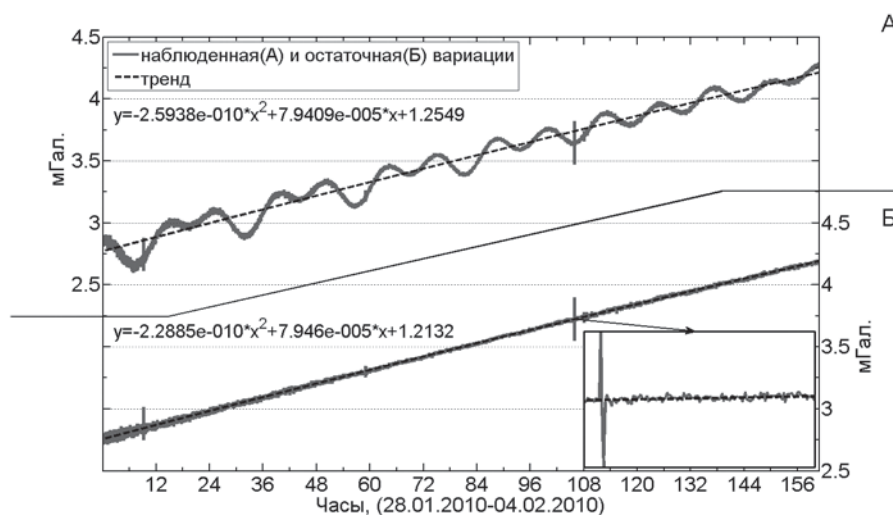


Рис. 1. Пример определения нуля-пункта при обработке лунно-солнечных вариаций силы тяжести в Бишкеке: А – определение смещения нуля-пункта гравиметра по наблюдаемым значениям вариаций силы тяжести; Б – определение смещения нуля-пункта гравиметра после вычитания расчетных значений вариаций из наблюдаемых вариаций

тренд смещения нуля-пункта, а после его исключения из наблюдаемой кривой (рис. 1-а) получены лунно-солнечные вариации (рис. 1-а) и сравнены с расчетными. Расхождение между теоретическими и полученными в результате исключения нуля-

пункта вариациями может достигать до 40 мкГал и более.

На врезке рис. 2-а расхождения между вычисленными и измеренными вариациями силы тяжести показано в более крупном масштабе. Следует

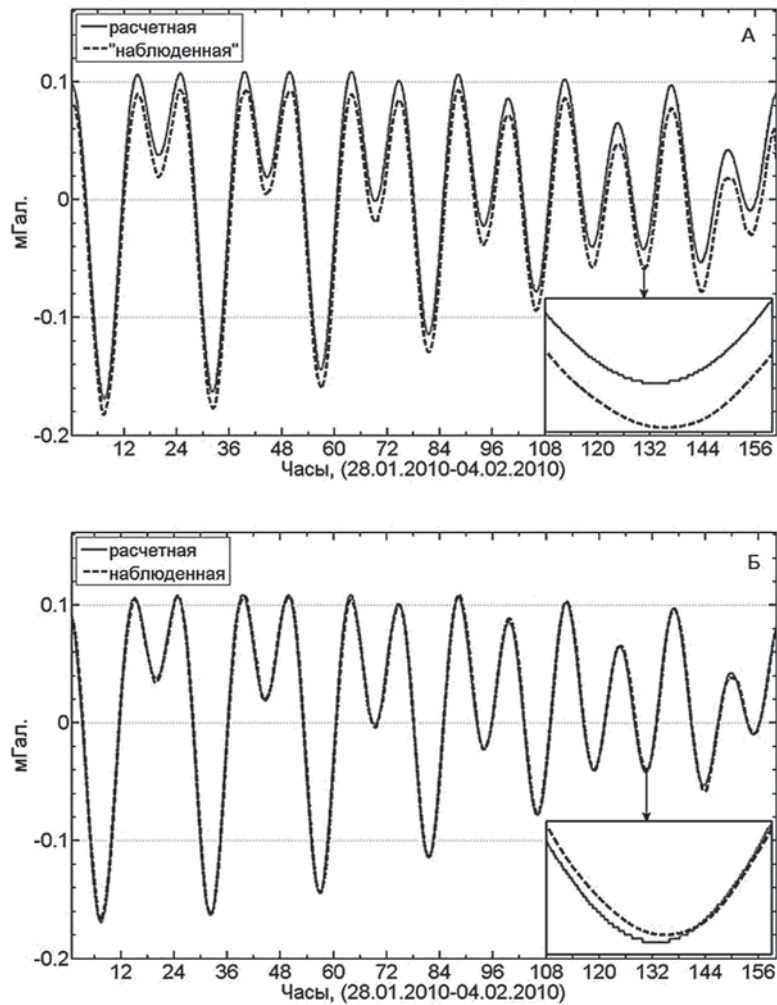


Рис. 2. Сравнение расчетных и наблюдаемых лунно-солнечных вариаций силы тяжести до и после исключения нуля-пункта. А – определение смещения нуля-пункта гравиметра по наблюдаемым значениям вариаций силы тяжести; Б – определение смещения нуля-пункта гравиметра после вычитания расчетных значений вариаций из наблюдаемых вариаций

отметить, что для удобства сравнения наблюдаемых и расчетных вариаций, измеренные вариации приведены уже сглаженными. Сглаживание проводилось с помощью так называемого скользящего «окна Хемминга» [6] (обратное преобразование Фурье). Интервал скользящего окна равен 40 мин, что соответствует 200 измерениям (отсчеты фиксировались через 12 с). Причем расхождения между расчетными и наблюдаемыми данными имеют, как правило, систематический характер. Например, теоретические и наблюдаемые значения вариаций могут совпадать в начале интервала записи вариаций, то в конце записи они уже расходятся. Или бывает, что теоретические и наблюдаемые значения совпадают в центре интервала записи, но по краям интервала расходятся или с одинаковым знаком или с разными знаками.

Причиной несоответствия теоретических и наблюдаемых значений служит то, что неправильно определяется тренд смещения нуля-пункта. Часто берут очень длинный интервал наблюдений, в котором нуль-пункт меняется по достаточно сложному закону. Поэтому лучше интервал наблюдений разбить на несколько более коротких отрезков, потому что аппроксимировать изменение нуля-пункта линейным или квадратичным полиномом на коротких отрезках несколько проще. На рис. 1-а показано вычисление тренда смещения нуля-пункта для одного такого отрезка.

Как отмечено выше, на рис. 2-а наблюдаются значительные расхождения между теоретическими и наблюдаемыми данными. Суть этих расхождений состоит, видимо, в том, что при определении тренда аппроксимировались наблюдаемые значения вариаций силы тяжести, которые по амплитуде

иногда сопоставимы с амплитудой нуля-пункта, и поэтому возникли погрешности. Кроме того, изменение лунно-солнечных вариаций имеет систематический характер и не подчиняется правилу наименьших квадратов. Поэтому было принято решение из наблюдаемых вариаций предварительно вычесть теоретические значения вариаций (рис. 1-б) и заново определить тренд. Хотя расчетная вариация не совпадает с наблюдаемой, но разность между ними достаточно мала и эта разность не внесет существенных погрешностей.

В наблюдаемых значениях вариаций силы тяжести (рис. 1-а, б) отмечаются короткопериодные импульсные помехи естественного или техногенного происхождения, амплитуда которых часто достигает очень значительных величин. Более всего, указанные помехи вызваны частыми локальными землетрясениями небольшой амплитуды, что характерно для орогенных территорий, куда относятся полигон наблюдений. Кстати, на рис. 1-б на врезке специально показано в увеличенном масштабе типичное сейсмическое событие, вызванное локальным землетрясением. Указанные помехи предварительно должны быть устранены.

После удаления тренда нуля-пункта с учетом сделанных замечаний сравнение теоретических и наблюдаемых вариаций (рис. 2-б) дает гораздо лучшие результаты. На врезке (рис. 2-б) теоретические и наблюдаемые значения практически совпадают, отличаясь друг от друга на величину запаздывания прилива. Это также видно из приведенных уравнений трендов на рис. 1, которые существенно отличаются друг от друга. Например, свободные члены уравнений разнятся на 40 мкГал.

При расчетах теоретических лунно-солнечных вариаций силы тяжести использовались формулы

[7], которые заложены в программное обеспечение гравиметра Scintrex CG-5 Autograf уже с поправочным коэффициентом за влияние чисел Лява. Таким образом, после удаления нуля-пункта никаких дополнительных поправочных коэффициентов в расчетные вариации вводить не нужно. Аналогичные данные получены по остальным городам, отмеченным выше, где проводились измерения. Наибольшие вариации наблюдаются при широтах 45° (в Бишкеке 44°).

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. 101–105
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. Неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести / Ю. В. Антонов, С. В. Слюсарев, В. Н. Чирков // Геофизика. – 1997. – № 1. – С. 40–45
4. Монтенбрук О. Астрономия на персональном компьютере / О. Монтенбрук, Т. Пфлегер. – М., 2002. – 312 с.
5. 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.
6. Хемминг Р. В. Численные методы / Р. В. Хемминг. – М.: Наука, 1968. – 400 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. – V. 64, № 12. – P. 2351–2355.

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

Voronezh State University
Yu. V. Antonov, Professor Chair of Geophysics
Tel. 8 (473) 220-83-85
yuriyantov@yandex.ru

Научная станция РАН (г. Бишкек)
Е. В. Воронцова, младший научный сотрудник
Тел. +996 (553) 01-40-29
vorontsova@gdir.ru

Research Station of the RAS (Bishkek city)
E. V. Vorontsova, research worker
Tel. +996 (553) 01-40-29
vorontsova@gdir.ru