

Эксперимент по созданию опорного пункта фундаментальной гравиметрической сети с учетом требований к пунктам Международной опорной гравиметрической сети IGRF

Е. А. Чистякова^{1,2}, В. Н. Баранов²*

¹ ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», г. Москва, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», г. Москва, Российская Федерация

* e-mail: e.a.chistiakova@gmail.com

Аннотация. В рамках эксперимента по созданию опорного пункта фундаментальной гравиметрической сети с учетом требований к пунктам Международной опорной гравиметрической сети IGRF на исходном пункте Государственной гравиметрической сети Российской Федерации поставлены регулярные абсолютные и мониторинговые относительные определения ускорения силы тяжести с использованием аттестованных гравиметров. В статье выполнено сравнение ряда абсолютных значений ускорения силы тяжести и мониторинговых значений вариаций ускорения силы тяжести. Результаты сравнения говорят о качестве сборки конкретных гравиметров, корректности применяемых методик измерений и обработки. В представленных результатах измерений отслеживаются остаточные вариации значения ускорения силы тяжести. Они могут быть обусловлены гидрологическими и атмосферными нагрузочными деформациями. Учет этих вариаций является предметом дальнейшего исследования.

Ключевые слова: вариации силы тяжести, геодезия, гравиметрия, земные приливы, атмосферные нагрузки

An experiment on the creation of a Reference point for the Global absolute gravity reference system, taking into account the requirements for the points of the International Gravity Reference Frame IGRF

E. A. Chistiakova^{1,2}, V. N. Baranov²*

¹ Center of Geodesy, Cartography and SDI, Moscow, Russian Federation

² State University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federation

* e-mail: e.a.chistiakova@gmail.com

Annotation. Regular absolute and monitoring relative determinations of the acceleration of gravity were made at the starting point of the State Gravimetric Network of the Russian Federation using certified gravimeters as part of the experiment to create a base point of the fundamental gravimetric network, taking into account the requirements for the points of the International Basic Gravimetric Network IGRF. The article compares a number of absolute gravity values and monitoring gravity values. The results of the comparison indicate the quality of the assembly of specific gravimeters, the correctness of the measurement and processing methods that were used. In the presented measurement results is shown that there still are some residual gravity variations. It can be caused by hydrological and atmospheric loading deformations. These variations is the subject of further research.

Keywords: gravity variations, geodesy, gravimetry, earth tides, atmospheric loads

Введение

В последние десятилетия все активнее развиваются гравиметрические сети различных категорий: международные, государственные, локальные. Знание о гравитационном поле Земли крайне важно для современного инженерно-геодезического производства, поскольку на строительных площадках все активнее применяются ГНСС-технологии. Ряд работ, таких как мониторинг деформаций зданий и сооружений, требуют наивысшей точности, иногда достигающей десятых долей миллиметра. С целью повышения точности координатных определений, получаемых ГНСС-методами, необходимо знать пространственные и временные вариации гравитационного поля Земли.

В 2015 году Резолюцией Международной ассоциации геодезии было предложено создание единой Международной гравиметрической опорной сети (IGRF). Для реализации сети была создана специальная рабочая группа IAG JWG 2.1.1, целью которой было установление глобальной абсолютной гравиметрической системы. Для этого необходимо создание сети опорных пунктов, на которых выполняются регулярные абсолютные и мониторинговые относительные определения, доступные в любое время.

Абсолютные значения ускорения силы тяжести в любой точке на земной поверхности не являются постоянными. Временные вариации ускорения силы тяжести зависят от многих факторов, имеющих различную физическую природу и характеристики, поэтому выявление их методом простой фильтрации не представляется возможным [1].

Пункт ЦНИИГАиК (TSNI#110a) является основным пунктом Государственной гравиметрической сети Российской Федерации и исходным пунктом Московского гравиметрического полигона. В связи с этим необходимо знать значение ускорения силы тяжести в любой момент времени с максимально доступной точностью. Кроме того, пункт TSNI#110a в комплексе с всем Московским гравиметрическим полигоном отвечает требованиям к опорным пунктам международной гравиметрической сети IGRF. В связи с этим, в рамках эксперимента по созданию опорного пункта для непрерывного мониторинга значений ускорения силы тяжести и включения пункта в международную гравиметрическую сеть IGRF с 2017 года на пункте TSNI ведутся регулярные абсолютные и мониторинговые относительные наблюдения.

Методы и материалы

Согласно требованиям к пунктам Международной опорной гравиметрической сети, на исходном пункте гравиметрической сети должны выполняться регулярные абсолютные и мониторинговые относительные определения ускорения силы тяжести аттестованными гравиметрами.

В лаборатории ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» расположены два постаменты с марками (TSNI#110a и TSNI#110b).

На пункте TSNI#110a выполняются регулярные наблюдения абсолютным гравиметром FG5. Баллистический гравиметр FG5 серийно производится амери-

канской фирмой Micro-g LaCoste. Прибор FG5#110 был выпущен в 1990-х годах, и после модернизации был приобретён ФГУП «ЦНИИГАиК» в 2004 году. В июне 2017 года был отправлен в США на ремонт и частичную модернизацию (полностью заменён блок электроники). В настоящее время в России гравиметром FG5 владеет только ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД».

Для мониторинговых наблюдений ускорения силы тяжести используется специальный приливной гравиметр gPhoneX, также произведенный фирмой Micro-g LaCoste. Таких гравиметров в Российской Федерации насчитывается несколько экземпляров, однако в большинстве они используются в качестве сейсмографов. Приливной гравиметр gPhoneX#117 установлен на пункте TSNI#110b. С 2014 г. практически непрерывно (ежесекундно) выполняются измерения силы тяжести, температуры и давления окружающей среды и датчика, положения уровней. Измерения, производимые гравиметром gPhoneX, относятся к высокоточным измерениям. Инструментальная погрешность измерений составляет 1 мкГал [2].

Результаты

Абсолютное значение силы тяжести g_i на пункте из наблюдений в каждом броске вычисляется по формуле [3-5]:

$$g_i = g_1 + \Delta g_c + \Delta g_a + \Delta g_B + \Delta g_{tide} + \Delta g_{Polar},$$

где g_1 - полученное из решения по методу наименьших квадратов значение ускорения силы тяжести по одному броску на уровне эффективной высоты гравиметра H_{eff} над местом установки;

Δg_c - поправка за конечность скорости распространения света;

Δg_a - поправка за притяжение атмосферы;

Δg_B - поправка за влияние сопротивления остаточного воздуха в баллистической камере;

Δg_{tide} - поправка за приливные изменения силы тяжести под действием Луны и Солнца;

Δg_{Polar} - поправка за движение полюса.

Повторная обработка результатов измерений гравиметром FG5 выполняется в два этапа:

вычисление значения силы тяжести на эффективной высоте (при значении вертикального градиента W_{hh} ;

– определение эффективной высоты H_{eff} .

В результате получен ряд абсолютных значений силы тяжести, приведенных к одной высоте. Также выполнена оценка точности каждого из полученных значений. Результаты представлены на рисунке 1.

Обработка измерений, выполненных приливным гравиметром, представляет особый интерес, поскольку единый автоматизированной методики обработки на сегодняшний день не существует. Предлагаемая методика описана в ранее проведенных исследованиях, описанных в [6, 7] и заключается в следующем:

1. Исключение случайных выбросов. Выполнялось в автоматическом режиме, пропуски данных, возникающие при исключении случайных выбросов с амплитудой более 3 мкГал, заполнялись интерполированным значением силы тяжести.

3. Исключение из измерений теоретических приливных изменений силы тяжести с использованием модели EGTAB и движения земных полюсов.

2. Фильтрация и последовательное прореживание секундных данных до частоты 1 измерения в минуту, в час, в 2 недели (в соответствии с правилом Котельникова [8]). Такой выбор частоты дискретизации связан с необходимостью решения тех или иных задач. Для данного исследования использовались значения, осредненные за 1 месяц.

3. Приведение результатов к высоте измерений FG5.

Обсуждение результатов

На рис. 1 представлены результаты сравнения абсолютных значений ускорения силы тяжести и мониторинговых значений, полученных приливным гравиметром.

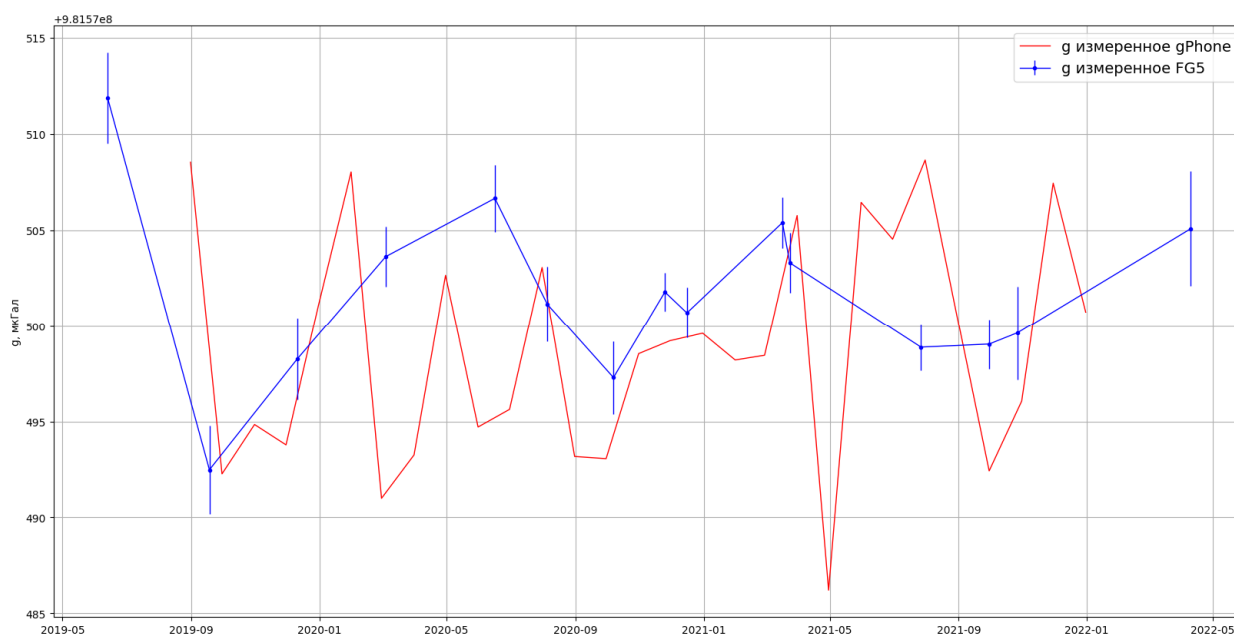


Рис. 1. График сравнения результатов измерений

Из графика (рис. 1) видно, что дрейф нуля-пункта приливного гравиметра gPhoneX практически отсутствует, что значительно упрощает обработку мониторинговых наблюдений. Очевидна корреляция результатов измерений обоими гравиметрами (коэффициент корреляции составляет 0,78). Кроме того, отслеживаются остаточные вариации значения ускорения силы тяжести. Они могут быть обусловлены гидрологическими и атмосферными нагрузочными деформациями. Учет этих вариаций является предметом дальнейшего исследования.

Заключение

В статье выполнено сравнение ряда абсолютных значений ускорения силы тяжести и мониторинговых значений вариаций ускорения силы тяжести на основном пункте Государственной гравиметрической сети Российской Федерации. Данное сравнение выполнено в рамках эксперимента по созданию опорного пункта фундаментальной гравиметрической сети с учетом требований к пунктам Международной опорной гравиметрической сети IGRF.

Результаты сравнения говорят о качестве сборки конкретных гравиметров, корректности применяемых методик измерений и обработки. В представленных результатах измерений отслеживаются остаточные вариации значения ускорения силы тяжести. Они могут быть обусловлены гидрологическими и атмосферными нагрузочными деформациями. Учет этих вариаций является предметом дальнейшего исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суздаев А.С. Вовк И.Г. Артемьева Н.П. Пространственно-временные вариации гравитационного поля Земли // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2012. — No 3. — С. 20–25.
2. Microg LaCoste (2012) gMonitor User's Manual: gMonitor Gravity Data Acquisition and Processing Software
3. Micro-g LaCoste, Lafayette, Colorado, USA. — FG5 Absolute Gravimeter User's Manual : 2011.
4. Micro-g LaCoste, Lafayette, Colorado, USA. — System Interface Module (SIMx) User's Manual : 2013.
5. Micro-g LaCoste, Lafayette, Colorado, USA. — g9 User's Manual : 2012.
6. Чистякова Е.А. Некоторые вопросы высокоточных измерений на Московском гравиметрическом полигоне / Е. А. Чистякова, И. А. Ощепков, Г. Э. Мельник, М. С. Гридчина // Навигация по гравитационному и магнитному полям Земли. Новые технологии : Тезисы докладов II научно-технической конференции, Менделеево, Московская обл., 29–31 октября 2019 года. – Менделеево, Московская обл.: Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений", 2019. – С. 64. – EDN IBXQBS.
7. Чистякова Е.А. Исследование атмосферных нагрузочных эффектов по результатам мониторинговых наблюдений силы тяжести на пункте цниигаик / Е. А. Чистякова // Великие реки' 2019 : Труды научного конгресса 21-го Международного научно-промышленного форума: в 3-х томах, Нижний Новгород, 14–17 мая 2019 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 296-299.
8. Котельников В. А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи — Всесоюзный энергетический комитет. // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933. Репринт статьи в журнале УФН, 176:7 (2006), 762—770.

© Е. А. Чистякова, В. Н. Баранов, 2023