

Д. Г. АРДЮКОВ, Е. Н. КАЛИШ, Д. А. НОСОВ, И. С. СИЗИКОВ, М. Г. СМЕРНОВ,
Ю. Ф. СТУСЬ, В. Ю. ТИМОФЕЕВ, Р. Г. КУЛИНИЧ, М. Г. ВАЛИТОВ

ИЗМЕРЕНИЯ АБСОЛЮТНОГО ЗНАЧЕНИЯ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА МЫСЕ ШУЛЬЦА

Представлены результаты четырехлетнего мониторинга (2010-2013 гг.) абсолютного значения ускорения силы тяжести (g) в зоне перехода «континент-Японское море» на базе морской экспедиционной станции «Мыс Шульца» Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на полуострове Гамова. Наблюдения выявили увеличение абсолютного значения g на 5.1 мкГал в течение первого года и на 3.2 мкГал в течение второго года. В 2012 г. был заложен пункт № 2, расположенный на 46 м ниже основного пункта № 1, для калибровки приливного гравиметра gPhone.

Ключевые слова: абсолютный баллистический гравиметр, вариации силы тяжести.

Введение

В рамках комплексных геофизических исследований проведены измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести на территории морской экспериментальной обсерватории (МЭО) «Мыс Шульца» Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО). Морская экспериментальная обсерватория расположена на полуострове Гамова (42.58°N, 131.15°E, Россия), на побережье Японского моря (рис. 1, 2).

Цель исследований состоит в изучении деформаций внутри Земли, вызванных приливными взаимодействиями и соответствующими тектоническими про-

Ардюков Дмитрий Геннадьевич. Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН (г. Новосибирск).

Калиш Евгений Николаевич, к.ф.-м.н., с.н.с. Института автоматики и электрометрии СО РАН.

Носов Дмитрий Алексеевич. Инженер Института автоматики и электрометрии СО РАН (г. Новосибирск).

Сизиков Игорь Сергеевич. Инженер Института автоматики и электрометрии СО РАН.

Смирнов Михаил Георгиевич. Ведущий инженер Института автоматики и электрометрии СО РАН.

Стусь Юрий Федорович. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института автоматики и электрометрии СО РАН.

Тимофеев Владимир Юрьевич. Доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН.

Кулинич Руслан Григорьевич. Доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института (ТОИ) им. В.И. Ильичева ДВО РАН (г. Владивосток).

Валитов Максим Георгиевич. Кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН.

цессами, приводящими к временным и нерегулярным вариациям ускорения силы тяжести в приграничных зонах «континент-океан». Комплекс проведенных исследований включал определение значения ускорения силы тяжести с использованием абсолютного лазерного гравиметра ГАБЛ (разработка Института автоматики и электрометрии СО РАН), регистрацию вариаций g за счет влияния Луны и Солнца посредством приливного гравиметра gPhone (разработка Micro-g-LaCoste), принадлежащего ТОИ ДВО РАН, позиционирование точки гравиметрических наблюдений с использованием приемника Trimble GPS 4700, введенного в действие в 2012 г. (ИНГГ СО РАН). Благодаря двум созданным гравиметрическим пунктам у ТОИ ДВО РАН появилась возможность калибровать gPhone. Гравиметрические наблюдения для анализа приливных вариаций ведутся с лета 2010 г. с применением гравиметра CG-5 (Scintrex), а с 2012 г. с использованием гравиметра gPhone.



Рис. 1. Мыс Шульца

Наблюдения вариаций абсолютного значения ускорения силы тяжести с использованием гравиметра ГАБЛ проводились с 2010 г. в течение четырех полевых сезонов 2010-2013 гг. в специально выделенном подвальном помещении с пассивной стабилизацией температуры.



Рис. 2. Пункт гравиметрических наблюдений на морской экспедиционной станции ТОИ им. В.И. Ильичева ДО РАН

Конструкция лазерного баллистического гравиметра ГАБЛ

Принцип действия гравиметра основан на определении параметров движения свободно падающего тела в вакуумной камере интерферометрическими методами. В качестве источника излучения в интерферометрической системе гравиметра применяется оптический стандарт длины на базе твердотельного Nd:YAG лазера с системой стабилизации по молекулярному йоду с рабочей длиной волны 532 нм.

Прибор для проведения измерений состоит из баллистического блока гравиметра ГАБЛ-М [1], интерферометра и электронно-вычислительной системы, используемых в полевой модели ГАБЛ-ПМ [2, 3]. Такой комплекс обеспечивает повышенную точность измерений благодаря увеличенной длине участка падения (7500 интервалов пути против 5000 в ГАБЛ-ПМ) и исключению влияния на виброзащитную систему посредством разделения баллистического блока и интерферометра, что важно при определении значений вертикального градиента ускорения силы тяжести по измеренным интервалам пути и времени. Упрощенная схема гравиметра представлена на рис. 3.

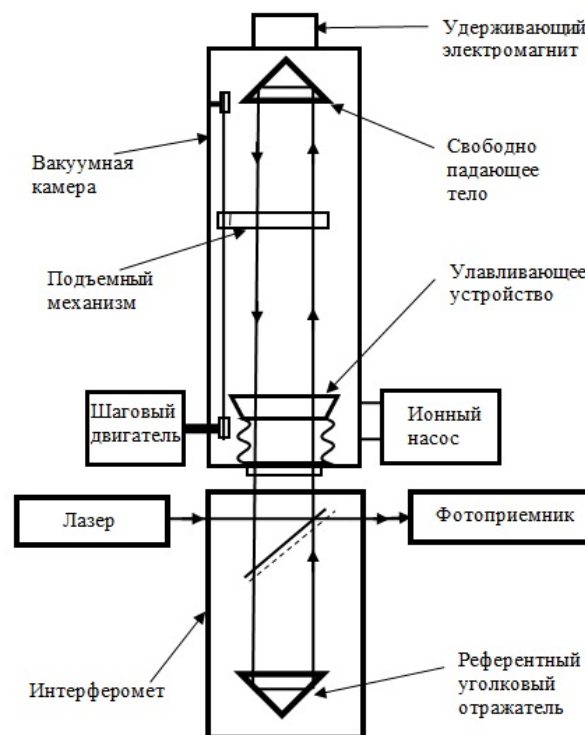


Рис. 3. Упрощенная схема гравиметра

Свободное падение пробного тела происходит в вакуумной камере, где поддерживается рабочее давление, обеспечивающее снижение влияния силы сопротивления остаточного газа при свободном падении пробного тела до величины $0.5 \cdot 10^{-9}$ г. Вакуумная камера изготовлена в виде трубы из нержавеющей немагнитной стали. Свободно падающее тело содержит оптический уголкового отражатель, закрепленный в титановом корпусе. В процессе измерений пробное тело с помощью подъемного механизма устанавливается в стартовое положение, захватывается удерживающей системой и после сброса свободно падает,

попадая в конце движения в улавливающее устройство. Подъемный механизм приводится в движение шаговым двигателем. Излучение оптического стандарта вводится в интерферометр гравиметра через одномодовый оптический волоконный кабель с сохранением поляризации и после прохождения асферического коллиматора направляется на светоделитель, который рассчитан на длину волны 532 нм. Полученное в результате интерференции излучение выводится по оптоволоконному кабелю на фотоприемник. Предложенная версия оптической системы с линейным расположением лучей относительно измерительного и референтного плеч интерферометра дает возможность существенно снизить погрешности, обусловленные горизонтальной составляющей вибросейсмических помех. В качестве источника света в интерферометре гравиметра применен оптический стандарт с длиной волны излучения $\lambda=532$ нм, состоящий из Nd:YAG лазера бегущей волны с внутривибраторным удвоением частоты излучения и системы стабилизации по резонансам насыщенного поглощения в молекулярной йоде.

Измерительно-вычислительный блок производит прием команд и параметров в соответствии с используемой моделью гравиметра, обеспечивает выполнение временной последовательности цикла бросков, принимает информацию со счетчиков, сконфигурированных в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС), накапливает ее во встроенной памяти и передает в компьютер для последующего анализа. Функциональную схему электронно-вычислительной системы и ее подробное описание можно найти в работах [2, 3]. Управление всеми узлами гравиметра и требуемые вычислительные процедуры осуществляются с помощью портативного компьютера типа ноутбук. Ниже приведены технические характеристики гравиметра ГАБЛ.

Технические характеристики гравиметра ГАБЛ

Среднеквадратическая погрешность измерения	
абсолютного значения ускорения силы тяжести	не более $\pm 4 \cdot 10^{-8}$ м/с ²
Среднеквадратическая погрешность измерения	
относительного значения ускорения силы тяжести	не более $\pm 2 \cdot 10^{-8}$ м/с ²
Число отсчетов за одно падение	7500
Продолжительность одного цикла измерений.....	10 с
Габариты: оптико-механический блок	1200×700×700 мм
Масса.....	180 кг
Потребляемая мощность.....	1,5 кВт (220 В, 50 Гц)

Результаты измерений

Измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести проводились в периоды: 23-30 октября 2010 г., 15-30 августа 2011 г., 24-31 августа 2012 г. и сентябрь 2013 г. Наиболее продолжительная серия наблюдений была проведена в 2011 г. в целях проверки различных приливных моделей и выбора лучшего варианта для расчета поправки при абсолютных измерениях. Как обычно, при измерениях учитывались поправки за твердую землю, за океанскую нагрузку, за атмосферное давление и инструментальные погрешности. По результатам измерений вертикальный градиент ускорения силы тяжести составил 289 мкГал/м.

Гравиметр ГАБЛ, расположенный в морской экспериментальной обсерватории «Мыс Шульца» ТОИ ДВО РАН в специально выделенном подвальном помещении с пассивной стабилизацией температуры, представлен на рис. 4.



Рис. 4. Гравиметр ГАБЛ в подвальном помещении (пункт 1 на рис. 1)

Повторные измерения в течение первого года выявили увеличение абсолютного значения g в пункте 1 на 5.1 мкГал и увеличение только на 3.2 мкГал в течение второго года (рис. 5). Таким образом, среднеквадратичная погрешность при измерении g не превысила 1-2 мкГал. Столь заметная разница в результатах измерений 2011 и 2010 гг. могла быть вызвана произошедшим 11 марта 2011 г. в Tohoku-Oki Megathrust землетрясением.

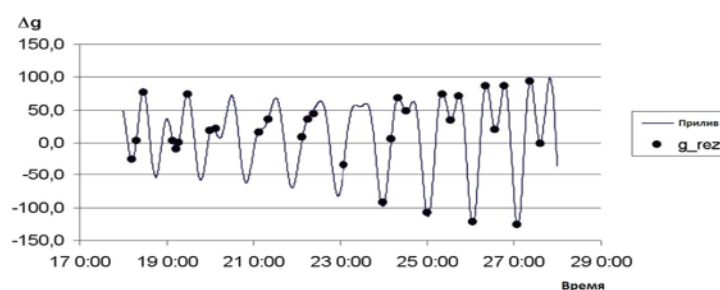


Рис. 5. Результаты наблюдений за период: 18-27 августа 2011 г.

Скорректированные результаты измерений представлены на рис. 6.

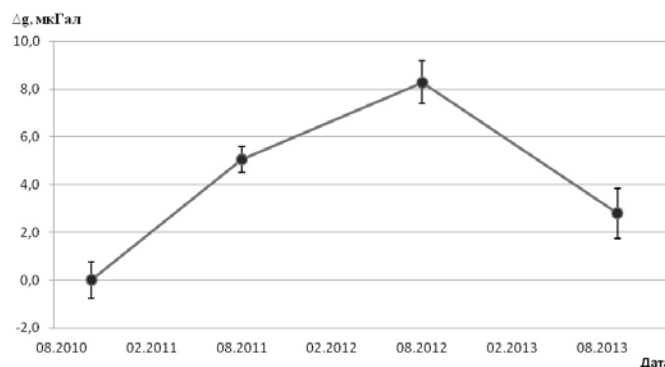


Рис. 6. Изменения абсолютного значения g на подвальном пункте МЭО

Сравнение результатов измерения абсолютного значения g с данными, полученными приливным гравиметром gPhone, выявили расхождение в полученных амплитудах приливов. Для уточнения калибровки gPhone в 2012 г. был создан дополнительный пункт 2 (рис. 7), расположенный на 46 м ниже основного пункта 1.



Рис. 7. Гравиметр ГАБЛ на пункте 2

Выводы

Наблюдения абсолютного значения ускорения силы тяжести проводились в периоды: 23-30 октября 2010 г., 15-30 августа 2011 г., 24-31 августа 2012 г. и сентябрь 2013 г. Наиболее продолжительная серия наблюдений была проведена в 2011 г. для проверки различных приливных моделей и выбора лучшего варианта для расчета поправки при абсолютных измерениях в приграничных зонах «континент-океан». Наблюдения выявили увеличение абсолютного значения g в пункте № 1 на 5.1 мкГал в 2011 г., увеличение только на 3.2 мкГал в 2012 г. и возвращение к начальному уровню значений при последующих измерениях. Столь заметная разница в результатах измерений 2011-2012 гг. по сравнению с результатами 2010 г. могла быть вызвана произошедшим 11 марта 2011 г. в Tohoku-Oki Megathrust землетрясением [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Arnautov G.P., Kalish E.N., Smirnov M.G., Stus Yu.F., Tarasiyk V.G.** GABL-M Ballistic Laser Gravimeter and Results of Observation of Gravity Variations // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 1994, N 3.
2. **Bunin I., Kalish E., Nosov D., Smirnov M., Stus' Yu.** Field absolute ballistic laser gravimeter // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, 2010. Vol. 46, No. 5. pp. 476-482.
3. **Stus Yu.F., Kalish E.N., Smirnov M.G., Bunin I.A., Nosov D.A.** The absolute ballistic gravimeter for field operations // Proceedings of IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: static and mobile measurements (tg-smm 2010), 22-25 June 2010, Saint Petersburg, Russia. The State Research Center of the Russian Federation, Concern CSRI Elektropribor, JSC. 2011. P. 66-71.
4. **Timofeev V., Kulinich R., Valitov M., Stus Y., Kalish E., Ducarme B., Gornov P., Ardyukov D., Sizikov I., Timofeev A., Gil'manova G., Kolpashikova T. and Proshkina Z.** Coseismic effects of the 2011 magnitude 9.0 Tohoku-Oki earthquake measured at Far East Russia continental coast by gravity and GPS methods // International Journal of Geosciences. 2012, doi: 10.4236/ijg.2012. Published Online. (<http://www.scirp.org/journal/ijg>).

Abstract. The work presents the results of the measurements of absolute gravity value g obtained over four field seasons in 2010-2013 at marine expeditionary station of Pacific Oceanological Institute at Shults Cape of Gamov peninsular (42.58°N, 131.15°E, Russia). The measurements revealed that during the first year the absolute g at the measurement point increased by 5.1 μ Gal, and during the second year, by 3.2 μ Gal. The auxiliary point No. 2 located 46 m below the main point No. 1 was founded in 2012 to create a gravimetric test site for calibration of the tidal gravimeter g-Phone.

Key words: absolute ballistic gravimeter, gravity variations

Материал поступил 09.04.15