

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСТОЯННОДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНЦИЙ ШСДКМ ПРИ АЭРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ПРОТЯЖЕННЫХ ПРОФИЛЯХ ПО МАРШРУТУ ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ - АРХАНГЕЛЬСК

*Конешов В.Н.<sup>1</sup>, Погорелов В.В.<sup>1</sup>, Спасивцев А.А.<sup>2</sup>, Ермошенко С.А.<sup>3</sup>, Родченко А.О.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, [vyv@ifz.ru](mailto:vyv@ifz.ru);

<sup>2</sup> Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных, г. Москва

<sup>3</sup> ОАО «Российские космические системы», г. Москва

### **Введение**

Коллективом ИФЗ РАН с 2013 года проводятся аэрогравиметрические исследования на протяженных профилях [2]. Полученные результаты показали, что подобные исследования могут с успехом использоваться для решения целого ряда задач, среди которых:

- экспериментальная проверка современных глобальных моделей гравитационного поля Земли [3,5];
- проверка работоспособности новых технологий спутникового позиционирования [1, 10];
- оценка возможного удаления от временных наземных базовых станций (БС) ГНСС, необходимых для коррекции положения самолета-лаборатории при проведении измерений [6, 8].

Исследования 2013-2014 гг. по последнему указанному направлению изложены в работе [4].

Развертывание временной сети обслуживаемых (как правило) БС требует наличия стационаров, обеспеченных электричеством и сотрудниками, обладающими квалификацией, необходимой для проведения необходимых наблюдений, в течение всего периода проведения работ (порядка нескольких месяцев), а также имеет ряд других особенностей [8, 9].

Анализ показаний временных БС с частотой опроса 10 Гц, размещенных в Петропавловске-Камчатском и на сейсмостанции «Карымшина» и расположенных на расстоянии ~ 70 км друг от друга, продемонстрировал, что различия в определении высот (вертикальных перемещений) с их использованием имеет амплитуды, сравнимые с аналогичными параметрами, вычисленными для каждой из этих станций и постояннодействующей станции широкозонной Российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ), расположенной в г. Петропавловск-Камчатский и имеющей частоту опроса в 1 Гц. Таким образом, использование постоянных ГНСС-станций ШСДКМ [11,13,14] с указанной частотой опроса может быть продуктивно для решения некоторых навигационных задач, возникающих при аэрогравиметрических исследованиях. Очевидно, это открывает новые возможности для привлечения дополнительной информации, которая может быть задействована как при проведении контроля данных локальной сети временных базовых станций, так и для повышения надежности позиционирования измерений на протяженных маршрутах (в отсутствие временных базовых станций).

В 2015-2017 годах нами был выполнен участок трансконтинентального профиля Архангельск-Мурманск (2016 г.), проведены повторные аэрогравиметрические наблюдения по маршруту Архангельск-Петропавловск-Камчатский – Архангельск и продолжена серия экспериментов по исследованию возможности обеспечения дифференциального режима аэрогравиметрических работ (на этапе пост-обработки измерений) с использованием удаленных временных и постояннодействующих базовых станций ГНСС, расположенных в арктической зоне и средних широтах.

### **Оценка возможности использования данных сети постояннодействующих наземных станций широкозонной Системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ)**

Ввиду затруднительности обеспечения равноудаленного расположения временных БС на значительных площадях, где может эффективно использоваться аэрогравиметрическая съемка, для изучения возможности повышения точности позиционирования положения самолета-лаборатории с использованием «внешней» информации на протяженных профилях были проведены исследования

применимости данных со стационарных постояннодействующих станций наблюдения, осуществляющих регистрацию с частотой 1 Гц.

Благодаря содействию Федерального космического агентства (РОСКОСМОС) в период выполнения трансконтинентальных перелетов 2015-2017 гг. были собраны данные с ряда станций широкозонной Российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ), расположенных вблизи маршрутов трансконтинентального профиля, а также расположенных севернее него. Схема перелета и привлекавшиеся станции ШСДКМ показаны на схеме, рис. 1.



Рис. 1. Схематическое изображение трансконтинентального перелета, вдоль которого выполнен аэрогравиметрический профиль с указанием использовавшихся базовых станций.

Аэропорты: 1- Мурманск, 2 – Архангельск, 3 – Сургут, 4- Мирный, 5- Петропавловск-Камч. Станции ШСДКМ: 5-Петропавловск-Камч., 6-Ноябрьск, 7-Норильск, 8-Билибино (2016 г.), 9-Якутск, 10-Магадан.

Временные базовые станции размещались в Архангельске, Петропавловске-Камчатском (2015 и 2016 гг.) и Москве (2016 и 2017 гг., при перелетах на запад)

Это позволило проанализировать эффективность использования разнесенных БС на выполненном трансконтинентальном профиле, а также получить материал для оценки коррекции по среднеширотным станциям и станциям, расположенным в арктической зоне.

Для иллюстрации на рис. 2 приведены разности в определении высот самолета-лаборатории (частота опроса ГНСС 10 Гц), вычисленных с использованием временной базовой станции в г. Петропавловск-Камчатский (частота опроса ГНСС 10 Гц) и по данным постоянных станций ШСДКМ

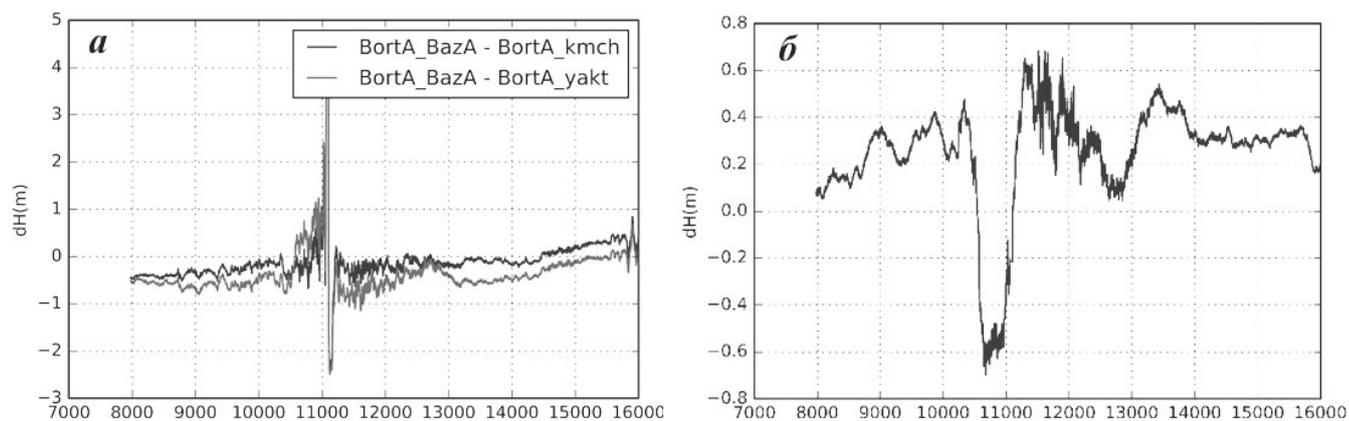


Рис. 2. Сравнение определений высоты самолета-лаборатории (BortA) на участке перелета Петропавловск-Камчатский – Мирный (Якутия) с использованием временной базовой станции на Камчатке (BazA) и постояннодействующих станций ШСДКМ в Петропавловске-Камчатском (kmch) и Якутске(yakt):

а – разности определений высоты с использованием временной базовой станции и станций СДКМ; б - разница разностей рис. 2а. По горизонтальной оси – время регистрации, в секундах, по вертикальной оси – приращение вертикальных компонент, в метрах, определенных с использованием временной БС и постояннодействующей станции ШСДКМ.

в Петропавловске-Камчатском и Якутске (обе – частота опроса 1 Гц). Интересно, что шумовая составляющая присутствует на обоих графиках рис.2а и имеет одинаковый характер, а на участках вне интервала 10500...11500 с расхождение в определении высоты составило не более 50 см.

### **Заключение**

В ходе проведения аэрогравиметрических исследований на протяженных профилях при трансконтинентальных перелетах по маршруту Архангельск – Петропавловск-Камчатский – Архангельск, выполненных коллективом ИФЗ РАН в 2016-2017 гг., показано, что данные постояннодействующих базовых станций широкозонной Системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ) могут успешно привлекаться в качестве дополнительной информации для анализа корректности процедур коррекции навигационных решений, вырабатываемых ГНСС-приемниками самолета-лаборатории, при использовании временных базовых станций ГНСС, традиционно применяемых для обеспечения дифференциального режима и расположенных на удалении от районов съемки, а также для изучения возможности применения метода абсолютных координатных определений - Precise Point Positioning (PPP) [12] и уточнения его разрешающей способности, в том числе – с учетом особенностей применения этого метода при аэрогравиметрических работах.

### **Благодарности**

Авторы благодарны руководству Федерального космического агентства (РОСКОСМОС) и сотрудникам ОАО «Российские космические системы» за содействие в использовании информации со станций широкозонной Системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ), а также дирекции и сотрудникам Камчатского филиала Единой геофизической службы РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН) за помощь в организации и проведении наблюдений на временных базовых станциях на Камчатке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН 1.32П "Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации" Проект "Аэрогравиметрическая съемка в высоких широтах Арктики»

### **Список литературы:**

1. *Дробышев М.Н., Спесивцев А.А., Конешов В.Н., Погорелов В.В.* Современное развитие и перспективы повышения точности спутникового позиционирования при решении задач аэрогравиметрии / Тез. докл. Четырнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 14-29 ноября 2016 г. (электронная публикация) М.: Изд-во ИКИ РАН, 2016. С. 20. ISBN 978-5-00015-007-8 [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5970](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5970)
2. *Конешов В.Н., Абрамов Д.В., Дробышев Н.В., Кузнецова Н.В., Макушин А.В., Погорелов В.В., Соловьев В.Н.* Изучение гравитационного поля Земли в ходе экспедиционных работ ИФЗ РАН на Камчатке в 2014 году // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2 (24). С. 204–210.
3. *Конешов В.Н., Непоклонов В.Б., Соловьев В.Н.* Сравнение глобальных моделей аномалий гравитационного поля Земли с аэрогравиметрическими измерениями при трансконтинентальном перелете // Гироскопия и навигация. 2014. № 2(85). С. 86–94.
4. *Конешов В.Н., Погорелов В.В., Соловьев В.Н.* Организация наземного сопровождения аэрогравиметрических исследований ИФЗ РАН над акваторией Тихого океана вблизи восточного побережья Камчатки // Труды Пятой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России» III школы-семинара «Гординские чтения». Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2015. С. 51-55.
5. *Конешов В.Н., Соловьев В.Н., Погорелов В.В., Непоклонов В.Б., Афанасьева Л.В., Дробышев М.Н.* Об использовании аэрогравиметрических измерений для оценки региональных погрешностей аномалий силы тяжести, определенных по современным моделям гравитационного поля Земли // Геофизические исследования. 2016. Том 17. №3. С. 5-16. DOI:10.21455/gr2016.3-1
6. *Конешов В.Н., Передерин Ф.В., Погорелов В.В., Спесивцев А.А., Соловьев В.Н., Холодков К.И.* О возможности использования необслуживаемых и постояннодействующих наземных ГНСС-станций при выполнении аэрогравиметрических наблюдений на протяженных профилях / Тез. докл. Четырнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 14-29 ноября 2016 г. (электронная публикация) М.: Изд-во ИКИ РАН, 2016. С. 314 ISBN 978-5-00015-007-8 [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5969](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5969)
7. *Конешов В.Н., Клевцов В.В., Соловьев В.Н.* Совершенствование аэрогравиметрического комплекса GT-2А для выполнения аэрогравиметрических съемок в Арктике // Физика Земли. 2016. №3. С. 123-130 DOI: 10.7868/S0002333716030066

8. *Погорелов В.В., Соловьев В.Н., Конешов В.Н.* «Экспериментальное исследование допустимого удаления самолета-лаборатории от базовой станции про аэрогравиметрической съемке // Материалы Конференции. III школа-семинар «Гординские чтения». М.: ИФЗ РАН, 2015. С. 130-135.

9. *Погорелов В.В., Конешов В.Н., Непоклонов В.Б., Соловьев В.Н., Спесивцев А.А.* О возможности уточнения модели гравитационного поля Земли с использованием аэрогравиметрических измерений на протяженных профилях // Тез. докл. Тринадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» 16-20 ноября 2015 г., г. Москва. (электронная публикация, CD), М.: ИКИ РАН, 2015. С. 57 [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109&thesis=5458](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109&thesis=5458)

10. Смоллер Ю.Л., Юрист С.Ш. Голован А.А., Якушик Л.Ю. Алгоритмические аспекты применения многоантенных GPS-приемников в аэрогравиметре GT-2A для съемок в полярных районах//Гироскопия и навигация. 2015. №3 (90). С. 61-71.

11. Система дифференциальной коррекции и мониторинга. Интерфейсный контрольный документ «Радиосигналы и состав цифровой информации функционального дополнения системы ГЛОНАСС системы дифференциальной коррекции и мониторинга» (редакция 1). ОАО «Российские космические системы», 2012. 132 с. [http://www.sdcм.ru/smglo/ICD\\_SDCM.pdf](http://www.sdcм.ru/smglo/ICD_SDCM.pdf)

12. *Gao Y., Wojciechowski A., Chen K.* Airborne Kinematic Positioning Using Precise Point Positioning Methodology // *Geomatica*. 2005. Vol. 59. № 1. С. 275–282.

**Электронные ресурсы:**

13. Официальный сайт государственной корпорации по космической деятельности РОСКОСМОС <https://www.roscosmos.ru/22054/>

14. Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга. Официальный сайт: <http://www.sdcм.ru/index.html>