

**ОРГАНИЗАЦИЯ НАЗЕМНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ АЭРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ИФЗ РАН НАД АКВАТОРИЕЙ ТИХОГО ОКЕАНА
ВБЛИЗИ ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ**

Конешов В. Н., Погорелов В. В., Соловьев В. Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва,
slavakoneshov@hotmail.com*

Введение

В сентябре 2013 г. ИФЗ РАН приступил к выполнению работ по изучению гравитационного поля и уточнению фигуры Земли в зоне перехода «океан-континент» вблизи восточного побережья Камчатки [8,11]. Исследования проводились методом аэрогравиметрии [3,6,7]. Для измерений использовались гравиметрические комплексы типа GT-1A/2A [1,2,5,13], размещенные на борту самолета-лаборатории на базе воздушного судна типа АН-24.

Для повышения точности позиционирования измерений гравиметрическими комплексами на борту самолета существующая на сегодняшний день практика проведения аэрогравиметрической съемки предполагает использование наземных корректирующих (базовых) станций (НКС) с целью регистрации GPS-наблюдений на неподвижных пунктах, расположенных в непосредственной близости от района съемки (напр., [7,11]). Особенностью этих наблюдений является необходимость их проведения с достаточно высокой частотой регистрации спутниковых данных, которая составляет 10 Гц, аналогично частоте регистрации на самолете [3, 7]. Данные регистрируются базовыми станциями во время полетов, продолжительность которых составляет от 4 до 8 часов. Это приводит к накоплению значительного объема данных, что не позволяет обеспечить их дистанционную пакетную передачу. Стационарные пункты региональных GPS-сетей, а также системы Росгидромета не обеспечивают указанной частоты регистрации ввиду отсутствия необходимости столь частых измерений в решаемых задачах геодинамического мониторинга и мониторинга состояния ионосферы, поэтому использовать накапливаемые ими данные для наземного сопровождения не представляется возможным.

Развертывание временной сети НКС на период проведения съемочных работ требует наличия стационаров, обеспеченных электричеством и сотрудниками, квалифицированными для проведения необходимых наблюдений на весь период проведения съемки (порядка нескольких месяцев). Оперативность и финансовая эффективность развертывания станций зависит от оптимизации логистики. Очевидно, что планирование размещения оборудования НКС на труднодоступных стационарах значительно увеличивает стоимость заброски, снижает оперативность развертывания и затрудняет возможность экстренного обслуживания и сбора данных. При рассмотрении возможности развертывания сети НКС следует учитывать региональные коммуникационные и климатические особенности. Опыт размещения базовых станций при выполнении аэрогравиметрических съемок ИФЗ РАН над акваториями Баренцева и Карского морей, выполненных в 2006-2013 гг., показал крайнюю необходимость проведения предварительных рекогносцировочных работ на местности заблаговременно до проведения работ [17].

Наземное сопровождение аэрогравиметрической съемки 2013 года

В 2013 г. перед началом аэрогравиметрических измерений по техническим причинам нами не проводилось детальных рекогносцировочных работ. Выбор возможной конфигурации сети базовых станций был выполнен на основе сбора данных о существующих стационарах на Камчатке – это стационарные сейсмостанции Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН), стационарные пункты сети геодинамического GPS-мониторинга KAMNET [15], метеостанции Камчатского УГМС Росгидромета [16], обсерватории ИКИР ДВО РАН [14]. С учетом географии запланированного района исследований (район акваторий Камчатского и Кроноцкого заливов), а также относительной простоты доставки оборудования и экономической целесообразности в качестве наиболее удобного размещения НКС с учетом оценки допустимого удаления станций от района съемки [7, 11, 13] предпочтительным вариантом стало использование стационаров сейсмической сети КФ ГС РАН. Эта сеть насчитывает 40 станций и обеспечивает

достаточно широкое покрытие Камчатского региона, также имеется возможность доставки оборудования автотранспортом на большинство стационаров. Последнее обстоятельство позволило отказаться от использования вертолетов при заброске из соображений экономии средств. Наиболее предпочтительным вариантом стали сеймостанции «Беринг», «Крутоберегово», «Козыревск». Возможность размещения оборудования НКС на них была согласована с руководством КФ ГС РАН.

Изначально планировавшееся размещение НКС в пос. Никольское на острове Беринга не состоялось ввиду перегруженности регулярных рейсов малой гражданской авиации в канун начала учебного года, а также сложных погодных условий а/п «Никольское», не позволивших выполнять регулярные рейсы в течение нескольких недель. Отсутствие регулярных перевозок пассажиров на остров морским транспортом не позволило завезти необходимое оборудование таким путем.

В результате на период работ 2013 г. базовые станции были развернуты нами на базе стационарных сейсмологических станций КФ ГС РАН «Крутоберегово», «Козыревск», а также в помещении КФ ГС РАН в г. Петропавловске-Камчатском (см.рис.1).

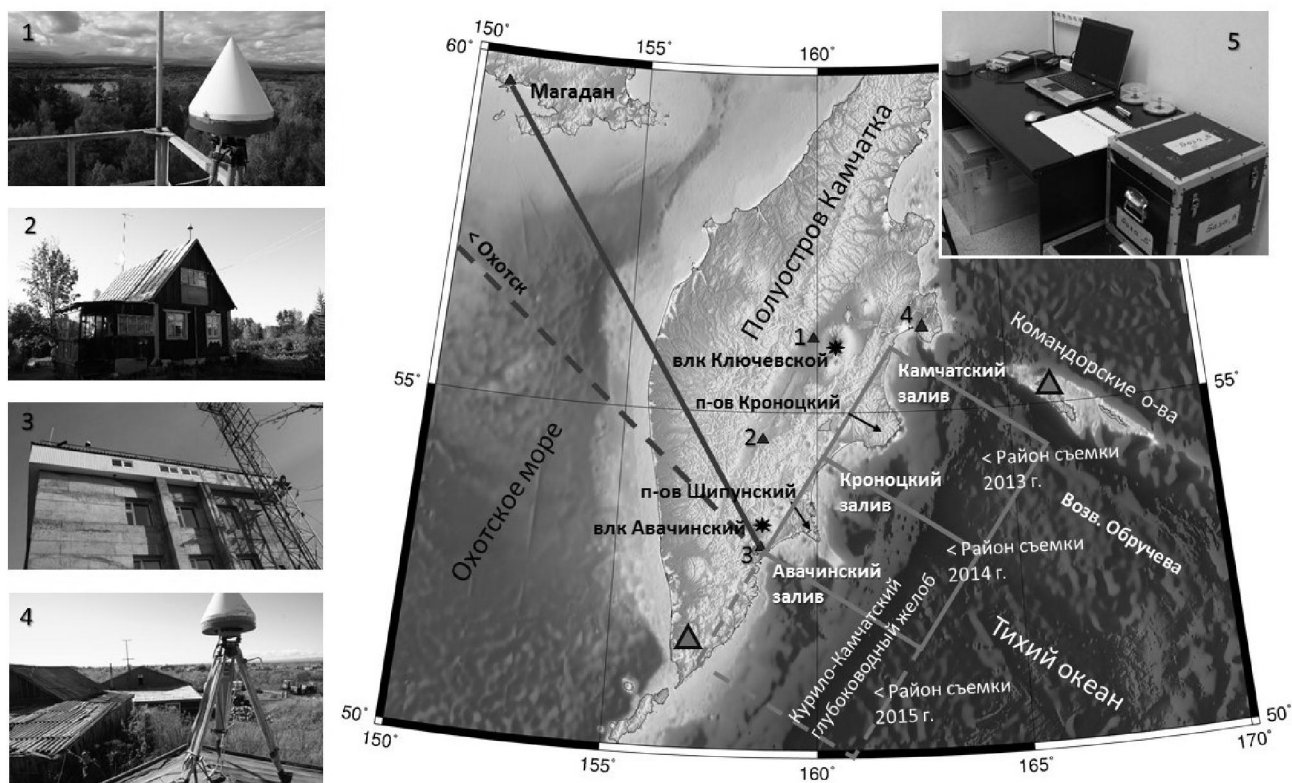


Рис.1. Базовые станции, использовавшиеся при проведении площадной съемки на Камчатке, а также для наземного сопровождения исследований на трансконтинентальных профилях. 1 – антенна на территории сеймостанции «Козыревск», 2 – гидрологический пункт «Верхнекамчатский», 3 – Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в г. Петропавловск-Камчатский, 4 – размещение антенны на сеймостанции «Крутоберегово» (2013 г.), 5 – рабочее место оператора базовой станции и комплект оборудования для обеспечения бесперебойного питания и защиты от пиковых нагрузок от сети электрического тока. На схеме серыми линиями обозначены участки маршрутов полетов 2013 г. – в Магадан, 2014 г. – на Охотск. Прямоугольниками со сплошными контурами обозначены районы выполненных съемок 2013-2014 гг., пунктирным контуром обозначен район предполагаемой съемки 2015 г. Крупными треугольниками обозначены возможные места размещения базовых станций: на южной оконечности Камчатки – сеймостанция «Паужетка» - при выполнении съемки акватории Тихого океана вблизи южной части полуострова Камчатка, сеймостанция «Беринг» (Командорские острова) – при съемке над акваторией Берингова моря.

Для сравнения, наличие приемлемого автомобильного сообщения между Петропавловском-Камчатским и поселком Усть-Камчатск позволило развернуть сеть НКС в течение трех дней (учитывая время на дорогу, монтаж оборудования и обучение персонала сейсмостанций проведению наблюдений на базовых станциях). Следует отметить, что важную роль в достаточно оперативном развертывании сети НКС оказало содействие сотрудников КФ ГС РАН В.В. Ящука, О.В.Арбугаевой (отдел радиотелеметрических сейсмических станций), Н.С. Рагунович и Ю.Н. Рагуновича (с/с «Козыревск»), А.В. Сумакова (отдел информационных технологий) и Л.А. Кудряшовой (с/с «Крутоберегово»).

Летные работы 2013 г. прошли в рекордно сжатые сроки – за 23 календарных дня было выполнено почти 40 тыс. пог. км. съемки. К регистрации измерений на базовых станциях привлекались сотрудники стационаров и молодые исследователи отдела РТСС, работа была выполнена качественно.

Очевидно, что реализованная сеть НКС не обеспечивала равноудаленной расстановки базовых станций. В связи с этим на материалах площадной съемки 2013 г. нами была выполнена оценка применимости такой конфигурации. Она оказалась приемлемой при всех имевших место удаления самолета-лаборатории от побережья, что подтвердило допустимость использования базовых станций при расстояниях до подвижного носителя от 300 до 600 км, что аналогично оценкам, полученным в исследованиях [7, 11].

Учитывая необходимость выполнения перелета самолета-лаборатории из а/п Елизово в аэропорт постоянного базирования в Архангельске, нами была сделана попытка оценки максимально допустимого удаления самолета-лаборатории от базовой станции – длины так называемой базовой линии. Имеющиеся предельные оценки этого удаления, полученные ранее авторами [13] по результатам аэрогравиметрической съемки над акваторией центральной части Охотского моря, выполненной ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика» в 2006 г, показали, расположение базовых станций от района работ на расстоянии до 800 км является допустимым для обеспечения масштаба 1:1 000 000.

Для оценки влияния длины базовой линии на точность позиционирования на перелете самолета-лаборатории по маршруту Елизово – Магадан - Мирный (Якутия) нами был обеспечен дифференциальный режим функционирования системы GPS с использованием базовой станции, расположенной в г. Петропавловск-Камчатский. При этом максимальное удаление от базовой станции составило 2680 км. Анализ полученных результатов не позволил однозначно оценить предельное дальноедействие базовой станции.

Начатое успешное сотрудничество с КФ ГС РАН позволило рассчитывать на продолжение и развитие совместных работ. В частности, была рассмотрена возможность заблаговременного развертывания базовых станций для выполнения измерений на перелете самолета из аэропорта постоянного базирования в аэропорт Петропавловска-Камчатского с целью продолжения экспериментальной оценки допустимой длины базовой линии.

Работы 2014 г.

В 2014 году аэросъемка проводилась над акваторией Тихого океана в районе полуострова Шипунский [9]. Учитывая успешный опыт работ 2013 г., как и в предыдущем сезоне, базовые станции были развернуты в Петропавловске и на сейсмостанции «Козыревск». Благодаря взаимодействию руководства КФ ГС РАН и Камчатского УГМС было согласовано размещение оборудования на гидрологическом посту «Верхнекамчатский» вблизи поселка Мильково. В период проведения аэрогравиметрических исследований сотрудниками стационаров также была обеспечена успешная регистрация данных, и проведены измерения на перелетах самолета-лаборатории из аэропорта базирования к аэропорту Петропавловска-Камчатского и обратно [9]. Полученные данные были использованы при построении новой гравиметрической карты на исследуемый район, а также позволили получить статистику на выполненных протяженных профилях по маршрутам Петропавловск-Магадан-Сыктывкар и провести анализ влияния увеличения базовой линии на точность позиционирования [19]*. На основе этих исследований нами было оценено соответствие между результатами аэрогравиметрических измерений (на протяженных профилях и для площадных съемок) и рядом актуальных глобальных моделей гравитационного поля Земли для средних широт Российской Федерации [9, 10, 18, 19].

Перспективы дальнейшего сотрудничества

Несмотря на стратегическую важность и экономическую перспективность камчатского региона, а также всесторонний научный интерес к изучению геолого-геофизических и

геодинамических особенностей Курило-Камчатской сейсмоактивной зоны, следует отметить, что недостаточная изученность гравитационного поля области перехода «океан-континент» [4, 12, 13, 20] обуславливает необходимость проведения исследований с использованием современных средств и методов. Это чрезвычайно важно не только для решения фундаментальных вопросов наук о Земле, но и для задач поиска полезных ископаемых здесь, а также обеспечения безопасности.

Используемый нами метод аэрогравиметрии является чрезвычайно эффективным для проведения исследований в данном районе. Как показал опыт нашего сотрудничества с КФ ГС РАН и непосредственного взаимодействия с персоналом сейсмостанций, данные стационары являются достаточно хорошими объектами для размещения оборудования для наземного обеспечения аэросъемочных работ над западной частью Охотского моря и прибрежными акваториями Тихого океана.

Некоторые сейсмические станции оборудованы постами, что позволяет рассматривать возможность организации здесь пунктов долговременных непрерывных гравиметрических и наклонных наблюдений в дополнение к проводимому сейсмометрическому и спутниковому геодинамическому мониторингу.

Заключение

В ходе выполнения аэрогравиметрических работ, выполненных ИФЗ РАН в 2013-2014 гг. базовые станции были развернуты на стационарных сейсмологических станциях КФ ГС РАН. Благодаря всестороннему содействию со стороны руководства и сотрудников этой службы было обеспечено оперативное развертывание и демонтаж базовых станций, удалось избежать ряда организационно-технических проблем и выполнить необходимые измерения в полном объеме. Проведенные исследования позволили коллективу ИФЗ РАН составить новые карты гравиметрических аномалий, а также провести эксперимент по оценке максимально возможного удаления самолета-лаборатории от базовых станций [14, 19].

Наш опыт организации наземного сопровождения аэрогравиметрических исследований над акваторией Тихого океана вблизи восточного побережья Камчатки наглядно свидетельствует о крайней эффективности использования имеющихся стационарных сейсмических станций сети КФ ГС РАН для размещения оборудования с целью проведения GPS-наблюдений, необходимых для коррекции координат, определяемых бортовыми (подвижными) приемниками спутниковой навигации при выполнении аэросъемки.

Следует отметить также, что оснащенность, конфигурация сейсмической сети и относительная доступность сейсмостанций являются благоприятными обстоятельствами для развития сотрудничества с учеными и руководством КФ ГС РАН с целью развития и проведения совместных геофизических (в том числе - мониторинговых) исследований в крайне уникальном регионе с активными тектоническими процессами. Богатейший опыт организации научных исследований и решения задач мониторинга сейсмической и геодинамической опасности, который накоплен коллективами ИВиС ДВО РАН и КФ ГС РАН, мог бы стать хорошим подспорьем в создании уникальной экспериментальной базы для подготовки молодых геологов и геофизиков, способных проводить исследования в Арктической зоне Российской Федерации.

Коллектив лаборатории гравиметрических измерений ИФЗ РАН крайне благодарен руководству КФ ГС РАН за помощь в организации наземных наблюдений, С.И. Пикуну и другим водителям КФ ГС РАН за участие в оперативном развертывании и демонтаже базовых станций, а также В.А. Рашидову (ИВиС РАН) за всестороннюю поддержку нашей экспедиции.

** Работа выполнена при частичной поддержке Программы Президиума РАН 44П "Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации", Проект "Аэрогравиметрическая съемка в высоких широтах Арктики".*

Список литературы

1. Абрамов Д.В., Конешов В.Н. О характеристиках и потенциальных возможностях чувствительного элемента гравиметра GT-2A // Сейсмические приборы. 2014. Том 50. № 2. С. 39-44.
2. Бержицкий В.Н., Ильин В.Н., Савельев Е.Б., Смоллер Ю.Л., Юрист С.Ш., Болотин Ю.В., Голован А.А., Парусников Н.А., Попов Г.В., Чичинадзе М.В. Инерциально-гравиметрический комплекс МАГ-1 (GT-1A). Опыт разработки и результаты летных испытаний // Гироскопия и навигация. 2002. № 3 (38). С.104–116.

3. Болотин Ю.В., Голован А.А., Парусников Н.А. Особенности камеральной обработки в задаче авиационной гравиметрии. // Разведка и охрана недр. 2006. № 5. С. 35–38.
4. ГИС-атлас «Недра России». Камчатская область. Информационный ресурс ФГУП ВСЕГЕИ <http://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/kamchatka/index.php>
5. Гравиметр GT-1A (GT-2A). Краткое учебное пособие. М.: ЗАО «Научно-техническое предприятие «Гравиметрические технологии»», 2011. 120 с.
6. Дробышев Н.В., Конешов В.Н., Конешов И.В., Соловьёв В.Н. Создание самолёта-лаборатории и методика выполнения аэрогравиметрической съёмки в арктических условиях // Вестник Пермского университета. Серия Геология. 2011. № 3. С.37–50.
7. Дробышев Н.В., Конешов В.Н., Погорелов В.В., Рожков Ю.Е., Соловьёв В.Н. Особенности проведения высокоточной аэрогравиметрической съёмки в приполярных районах // Физика Земли. 2009. № 8. С.36–41.
8. Конешов В.Н. Абрамов Д.В., Дробышев Н.В., Клевцов В.В., Кузнецова Н.В., Е.Ю. Лаврентьева, Макушин А.В., Погорелов В.В. Соловьёв В.Н. Аэрогравиметрические исследования ИФЗ РАН над акваторией восточного побережья Камчатки осенью 2013 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 2, Выпуск 22. С.232–237.
9. Конешов В.Н., Абрамов Д.В., Дробышев Н.В., Кузнецова Н.В., Макушин А.В., Погорелов В.В. Изучение гравитационного поля Земли в ходе экспедиционных работ ИФЗ РАН на Камчатке в 2014 году. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Выпуск 24. С. 204-210.
10. Конешов В.Н., Непоклонов В.Б., Соловьёв В.Н., Дробышев М.Н. Методический прием оценки погрешности моделей аномалий гравитационного поля Земли // Материалы 42-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей» (26–30 января 2015 г.). Пермь: Горный ин-т УрО РАН, Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2015. С. 107-108.
11. Конешов В.Н., Соловьёв В.Н., Погорелов В.В., Абрамов Д.В., Макушин А.В., Дробышев Н.В., Клевцов В.В. Аэрогравиметрические исследования акватории Тихого Океана в районе полуострова Камчатка // Геофизические исследования. 2014. Том 15. № 3. С. 5-12.
12. Косыгин В.Ю., Исаев В.И. Аномальное гравитационное поле северо-запада Тихого океана // Геофизический журнал. 2005. Том 27, №3 С.393-411.
13. Могилевский В.Е., Павлов С.А. Высокоточная аэрогравиметрическая съёмка на шельфе // Официальный сайт ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика». Электронная публикация: http://aerogeo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=76%3A2009-10-15-13-37-44&catid=18%3A2009-06-23-04-49-37&Itemid=21&lang=ru
14. Официальный сайт Института космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН <http://www.ikir.ru/ru/Departments/>
15. Официальный сайт Камчатского филиала Геофизической службы РАН <http://www.emsd.ru>
16. Официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения «Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ФГБУ «Камчатское УГМС») <http://kammeteo.ru/>
17. Погорелов В.В., Макушин А.В. Проведение аэрогравиметрических исследований в Арктике // Материалы II Международной молодежной научно-практической конференции «Морские исследования и образование» М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2013. С. 97-100.
18. Погорелов В.В., Соловьёв В.Н., Виноградова О.Ю., Макушин А.В., Конешов В.Н. Уточнение модели гравитационного поля Земли на акватории Тихого океана вблизи восточного побережья Камчатки по результатам аэрогравиметрических исследований // Материалы IV Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана». СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2014. С.18-20.
19. Погорелов В.В., Соловьёв В.Н., Конешов В.Н. Экспериментальное исследование допустимого удаления самолета-лаборатории от базовой станции при аэрогравиметрической съёмке // Материалы III Школы-семинара «Гординские чтения» Москва, 21-23 апреля 2015 г. М.: ИФЗ РАН, 2015. С. 121-125.
20. Селиверстов Н.И. Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2009. 191 с.