

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ
В РАЙОНЕ СТАНЦИЙ МИРНЫЙ, ПРОГРЕСС И ПОЛЕВОЙ БАЗЫ
МОЛОДЕЖНАЯ, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА,
В СЕЗОН 62-Й РАЭ (2016/17 г.)**

*С.В. ПОПОВ¹, С.С. ПРЯХИН², Д.П. БЛЯХАРСКИЙ³, А.Д. БЕЛКОВ⁴,
В.Л. КУЗНЕЦОВ², М.П. КАШКЕВИЧ⁵, С.В. ТЮРИН⁵*

¹ — АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, e-mail: sporov67@yandex.ru

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: pryakhin@aari.ru

³ — АО «Геоскан», Санкт-Петербург, e-mail: rash55@yandex.ru

⁴ — АО «Аэрогеодезия», Санкт-Петербург, e-mail: sovest95@yandex.ru

⁵ — Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, e-mail: m.kashkevich@spbu.ru

Обсуждаются результаты инженерных изысканий в районе станций Мирный, Прогресс и полевой базы Молодежная, выполненных в ходе летнего полевого сезона 62-й РАЭ (2016/17 г.). Сотрудниками Российской антарктической экспедиции был осуществлен обширный комплекс ледоисследовательских работ, направленных на решение прикладных задач РАЭ логистического характера. Он включал в себя инженерные, аэрофотосъемочные, гляциологические, буровые, геодезические и георадарные исследования с целью обеспечения безопасности транспортных операций в районе российских антарктических станций Мирный и Прогресс (Восточная Антарктида). На замерзшей акватории фьорда Нелла, в районе станции Прогресс, были выполнены опытно-методические работы по изучению морского льда.

Ключевые слова: гляциология, геофизика, георадарные исследования, аэрофотосъемка.

ВВЕДЕНИЕ

К концу 1990-х гг. наша страна имела достаточно обширную сеть авиационного сообщения между антарктическими станциями. Однако ухудшение общей экономической ситуации в стране привело к существенным отрицательным изменениям и в этой сфере. В частности, наша главная станция Молодежная была превращена в полевую базу. Это привело к утрате значимой части техники, обеспечивающей нужды авиации. Следствием этого явилось функционирование лишь одной из многочисленных посадочных площадок, организованных в этом районе. Второй важной утратой стало полное прекращение авиационного сообщения со станцией Мирный после завершения полевого сезона 36-й САЭ в начале 1991 г. (Саватюгин, 2001).

Прошло время, и экономическая ситуация в нашей стране начала стабилизироваться. Это привело, в том числе, и к улучшению финансового обеспечения Российской антарктической экспедиции (РАЭ). Таким образом, появились предпосылки к расширению научных работ в Антарктиде, что нашло свое отражение в «Стратегии развития деятельности Российской Федерации в Антарктике на период до 2020 года

и на более отдаленную перспективу», утвержденную Правительством РФ № 1926-р от 30 октября 2010 г. Важным шагом ее реализации стали комплексные научно-инженерные изыскания, выполненные в ходе летних полевых сезонов 59–61-й РАЭ (2013–2016 гг.) для возобновления авиационного сообщения со станцией Мирный (Попов и др., 2015; 2016*а, б, в*; 2017; Попов и Поляков, 2016; Пряхин и др., 2015). Они завершились подготовкой посадочной площадки, на которую 10 февраля 2016 г. был успешно принят среднемагистральный самолет DC-3T (BT-67) «Турбобаслер» компании «ALCI», г. Кейптаун, ЮАР (Попов и др., 2016*а, б, в*). Следующим значимым этапом укрепления и восстановления некогда утраченной авиационной инфраструктуры должно стать выявление подходящих участков и строительство новых посадочных площадок в районе п/б Молодежная. Необходимость этого продиктована в том числе и обеспечением безопасности операций в рамках работы международной авиационной корпоративной сети «Dromlan», объединяющей 11 национальных антарктических программ (Поляков и др., 2015).

В ходе летнего полевого сезона 62-й РАЭ (2016/17 г.) сотрудниками Российской антарктической экспедиции был выполнен обширный комплекс ледоисследовательских работ, направленных прежде всего на решение прикладных задач РАЭ логистического характера. Он включал в себя инженерные, аэрофотосъемочные, гляциологические, буровые, геодезические и георадарные исследования с целью обеспечения безопасности транспортных операций в районе российских антарктических станций Мирный, Прогресс и полевой базы Молодежная (Восточная Антарктида). Кроме того, были проведены работы по изучению морского льда. Как отмечалось выше, указанные исследования являлись логичным продолжением начатых в сезон 59-й РАЭ работ по восстановлению и расширению авиационного обеспечения отечественных станций и полевых баз в Антарктиде.

РАБОТЫ В РАЙОНЕ ПОЛЕВОЙ БАЗЫ МОЛОДЕЖНАЯ

Работы в районе отечественной полевой базы Молодежная были направлены на выявление мест, пригодных для строительства посадочной площадки для приема среднемагистральных самолетов на лыжном шасси, и выполнялись в рамках проекта по обновлению и расширению авиационной инфраструктуры базы. Исследования проводились 28 декабря 2016 г. в ходе кратковременной стоянки НЭС «Академик Федоров». В качестве перспективных было рассмотрено два района. Первый, наиболее предпочтительный, расположен в непосредственной близости от основных строений полевой базы. Второй удален от нее на расстояние около 7 км. При проведении работ впервые в практике отечественных антарктических исследований использовалась беспилотная аэрофотосъемочная система (БАС). Исследования выполнялись комплексом GeoScan 201 (Группа компаний Геоскан, Россия) со следующими основными техническими характеристиками: продолжительность полета до 180 мин; относительные высоты полетов от 100 до 4000 м; ограничения по скорости ветра при взлете до 10 м/с, а во время полета до 20 м/с. Старт БАС осуществлялся с катапульты; посадка выполнялась на парашюте. Аэрофотосъемочная система оснащена фотокамерой Sony DSC-RX1 (Sony Corporation, Япония) с объективом 35 мм. Этапы запуска и посадки БАС показаны на рис. 1.

По результатам аэрофотосъемки (АФС) разработан предварительный ортофотоплан местности с детализацией 5 см/пиксель на каждом участке. Работы позволили оценить углы наклонов поверхности ледника, выявить наличие препятствий в зонах

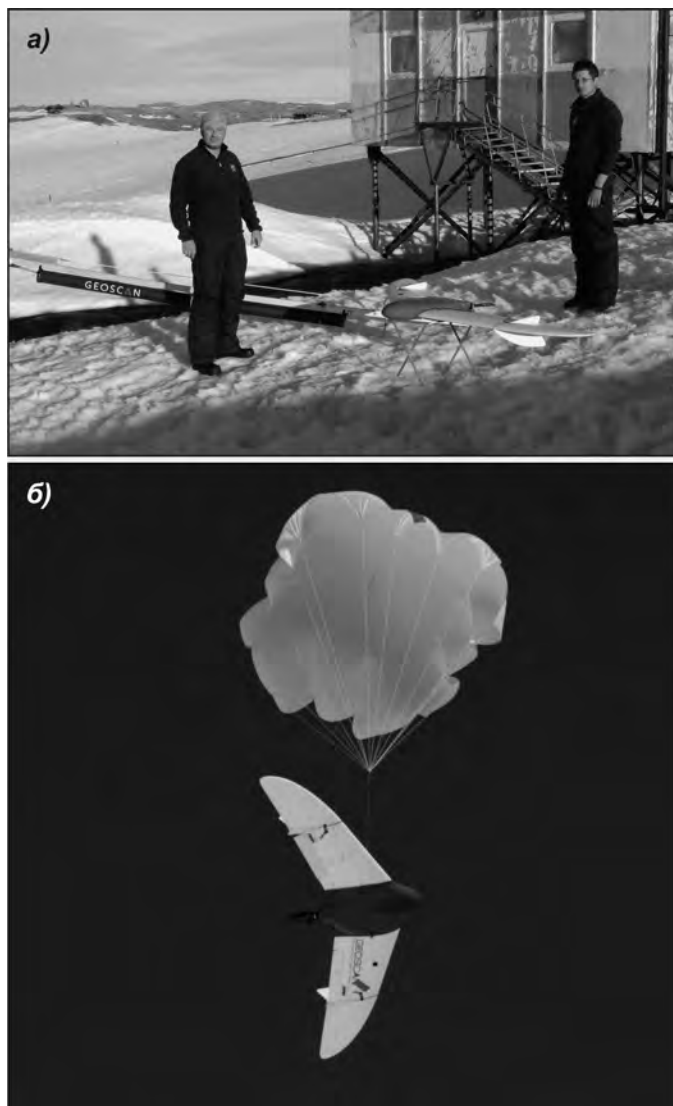


Рис. 1. Этап запуска (а) и приземления (б) беспилотной аэрофотосъемочной системы на полевой базе Молодежная.

Фото (декабрь 2016 г.): а — С.В. Попова; б — С.С. Пряхина.

воздушных подходов, а также убедиться в отсутствии видимых трещин. Для обработки материалов АФС использовался программный комплекс Agisoft PhotoScan Professional 1.2 (Agisoft LLC, Россия).

Для изучения строения приповерхностной части ледника на первом участке также было выполнено георадарное профилирование, которое является эффективным способом решения подобных задач (Попов, Эберляйн, 2014). В этих работах использовались георадары «ОКО-2» (ООО «Логические системы», Россия) с антеннами АБ-150 (150 МГц) и АБ400М (400 МГц). Плановая привязка осуществлялась с использованием

спутникового приемоиндикатора GARMIN GPSmap 60. Его точность оценивается в первые метры. Поскольку работы носили рекогносцировочный характер, более высокая точность позиционирования антенн георадаров для них не требовалась.

Для пересчета временного разреза в глубинный необходимо наличие скоростной модели лоцируемой среды. Однако ввиду интенсивного приповерхностного таяния происходит обводнение слоя снега. Ледниковый лед залегают явно неглубоко, а из-за плохой проницаемости для талой воды его поверхность является естественным водоносным горизонтом. Это, в свою очередь, приводит к скоплению последней относительно неглубоко от поверхности, что и наблюдается визуально. В данной ситуации наличие даже небольшого по толщине низкоскоростного пресноводного слоя (его скорость ниже скорости в снегу почти на порядок) способно изменять среднюю скорость по разрезу в весьма широких пределах, что существенно усложняет обработку данных.

С целью определения скоростных параметров среды были обработаны годографы в общей сложности 11 дифрагированных волн от неоднородностей, выявленных на временных георадарных маршрутах. Усредненная диэлектрическая проницаемость верхней части ледника составила 4 единицы. Расчеты осуществлялись в рамках модели наклонно-слоистой среды (Попов, 2017). Столь высокое значение диэлектрической проницаемости обусловлено, как было отмечено, наличием интенсивного приповерхностного таяния.

Анализ георадарных данных показал, что мощность снежной толщи на первом участке составляет не более одного метра, а глубже залегают лед. На его границе со снежной толщей в период интенсивного летнего таяния концентрируется вода, неспособная просочиться в глубь водонепроницаемой ледяной толщи. Результаты проведенных работ будут положены в основу последующего планирования и развития аэродромной сети полевой базы Молодежная.

РАБОТЫ В РАЙОНЕ СТАНЦИИ МИРНЫЙ

Работы в районе отечественной станции Мирный были достаточно обширными как по решаемым задачам, так и по комплексу применяемых методов. Они включали в себя: проведение визуальной и инструментальной проверки посадочной площадки на наличие трещин; выполнение многократных высокоточных геодезических измерений на основе GNSS (Global Navigation Satellite System, глобальная навигационная спутниковая система) положения ранее выставленных вех для прогнозирования развития трещин в данном районе; составление детальной схемы высот поверхности ледника; выполнение специализированных георадарных работ, направленных на определение скоростей распространения электромагнитных волн в теле ледника. Помимо этого, для расширения возможностей станции по организации авиационного обеспечения был осуществлен комплекс рекогносцировочных работ, направленных на поиск места возможного строительства дополнительной посадочной площадки. Выяснено, что перспективным районом является участок ледника, расположенный недалеко от сопки Ветров (примерно в двух километрах к западу от станции Мирный).

Проверка безопасности действующей с сезона 61-й РАЭ посадочной площадки осуществлялась как визуально, так и инструментальным способом: было выполнено георадарное профилирование по ее середине и краям. Обследование показало, что на отдельных участках площадки имеется ряд трещин шириной 10–20 см. Они располагаются главным образом в краевой части ВПП. В целом эти трещины не являются

опасным для людей и транспортной техники, а у сотрудников РАЭ имеется богатый положительный опыт бучения таких трещин и восстановления таким образом целостности поверхности.

При выполнении георадарных исследований важным вопросом является выбор скоростной модели среды для корректного пересчета временного разреза в глубинный. Наиболее точным является метод наклонных зондирований, выполняемый по системе общей глубинной точки (ОГТ) или общей точки возбуждения (ОТВ). Их теоретические основы разработаны и описаны в литературе применительно к сейсмическим исследованиям (Боганик, Гурвич, 2006).

Выполнение наклонных зондирований осуществлялось отечественным георадаром ОКО-2 (ООО «Логические системы», Россия) с раздвижными антеннами и частотой зондирующих импульсов 150 МГц. Его конструктивной особенностью является наличие оптоволоконного кабеля, соединяющего обе антенны. Для проведения работ использовался кабель длиной 10 м, что определило максимальную

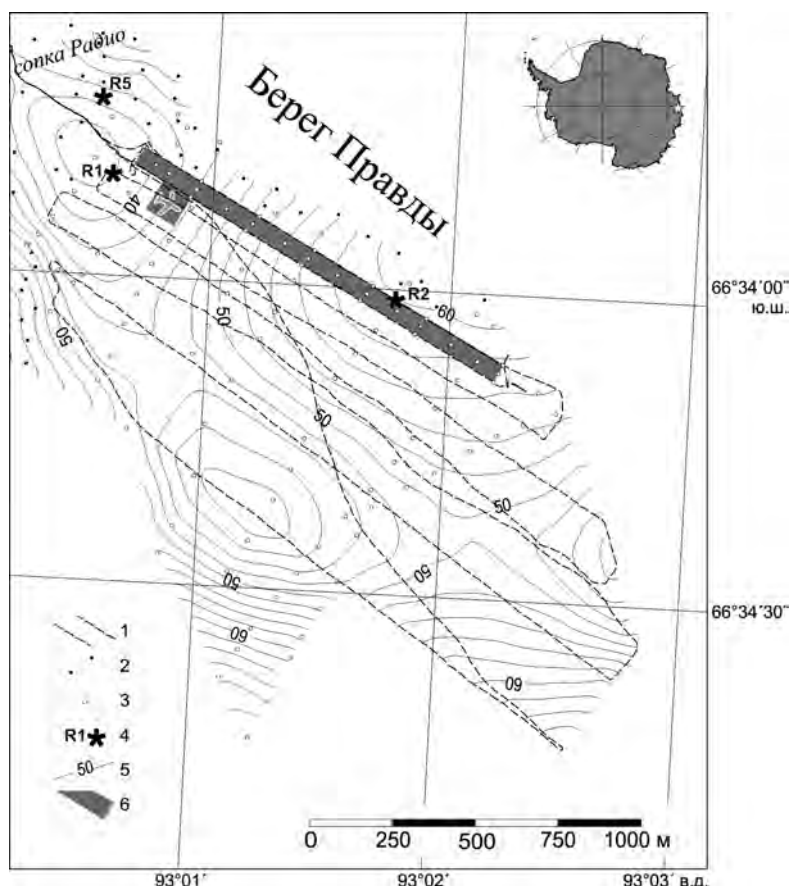


Рис. 2. Состав работ и схема высот поверхности ледника в районе посадочной площадки станции Мирный: 1 — геодезические маршруты; 2 — пункты пешеходных измерений; 3 — пункты тахеометрических измерений; 4 — пункты выполнения наклонных зондирований и их номера; 5 — изогипсы поверхности ледника в метрах; сечение изолиний 2 м; 6 — посадочная площадка, организованная в сезон 62-й РАЭ.

длину расстановки антенн. Наклонные зондирования были выполнены в пунктах R1, R2 и R5 (рис. 2) по методикам ОГТ и ОТВ.

В качестве примера на рис. 3 приведены результаты, полученные в пункте R1 (рис. 2). Они показывают, что ледник представляет собой многослойную среду. Это подтверждается, в частности, ранее полученными данными кернового бурения. Первый слой мощностью 5,0 м и эффективной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{eff} = 2,35$ единиц отождествляется с плотной снежно-фирновой толщей. Второй слой характеризуется мощностью 0,4 м. Его нижняя граница залегает на глубине 5,4 м, а $\epsilon_{eff} = 5,6$ единиц. В работе (Looyenga, 1965) приводится соотношение, связывающее этот параметр с объемным содержанием влаги для двухкомпонентной смеси лед – вода, в предположении, что водяные включения имеют сферическую форму. Согласно этой модели, полученное значение ϵ_{eff} соответствует льду с объемным содержанием влаги 15 %. Столь высокое значение указывает на то, что им является влажный лед, а также скопившаяся талая вода. Это вполне соотносится с полученными ранее данными. Мощность третьего слоя составляет 0,7 м. Его нижняя граница залегает на глубине 6,1 м, а $\epsilon_{eff} = 4,8$ единиц, что, согласно (Looyenga, 1965), соответствует льду с объемным содержанием влаги 7,5 %. Понижение влажности льда указывает на то, что основная часть талой воды канализируется вышележащим слоем. Мощность четвертого слоя составляет 6,6 м. Его нижняя граница залегает на глубине 12,7 м,

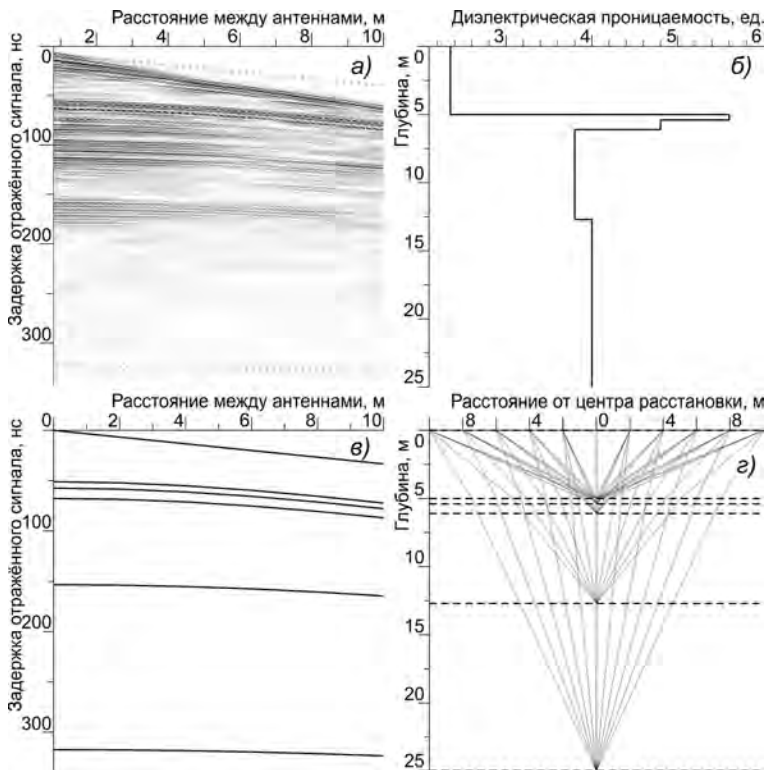


Рис. 3. Результат наклонных зондирований по методу ОГТ, выполненных в пункте R1: а — радарограмма; б — скоростная модель; в — теоретический годограф; г — ход лучей в рамках модели наклонно-слоистой среды. Положение пункта наклонных зондирований показано на рис. 2.

а $\varepsilon_{eff} = 3,8$ единиц, что соответствует льду с объемным содержанием влаги 3,5 %. Последовательное понижение количества влаги свидетельствует о еще меньшем ее проникновении в тело ледника. Пятый слой характеризуется мощностью 12,3 м; его нижняя граница залегает на глубине 25,0 м. Для него $\varepsilon_{eff} = 4,0$ единиц. Рост этого параметра и, как следствие, повышение влажности льда до 4,1 % могут быть связаны с повышением его температуры из-за близости каменного основания.

В ходе полевых работ выполнены высокоточные GNSS геодезические измерения абсолютных высот поверхности ледника. Они осуществлялись с применением радионавигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. В работах использовалась аппаратура Leica GX 1220 GG (LEICA Geosystems AG, Switzerland). Для определения базовых пунктов применялся спутниковый приемник Leica GX 1230 GG. Для передвижения во время наблюдений в основном использовался снегоход. В общей сложности выполнено 34 пог. км геодезических маршрутов, кроме того, часть измерений получена пешим порядком. В дополнение была выполнена тахеометрическая съемка, состоявшая из 115 пунктов. В работе использовался тахеометр Trimble M3 DR 5 (Trimble Navigation Ltd, USA). Фрагмент схемы высот поверхности ледника в районе посадочной площадки, а также геодезические маршруты и пункты тахеометрической съемки представлены на рис. 2.

Согласно полученным данным, высота поверхности ледника вдоль длинной оси ВПП изменяется в пределах от 38 м в ее начале до 59 м на удалении 873 м. На наиболее крутом участке в интервале от 120 м до 680 м средний уклон составляет около $1,66^\circ$ (29 м/км). Боковые уклоны практически отсутствуют. Указанные параметры соответствуют авиационным требованиям, изложенным в нормативных документах ВСН37-76, РЭГА-94, НГЭА-92 и ФАП-69 (МГА СССР, 1976). Таким образом, посадочная площадка, на которую в сезон 61-й РАЭ уже был принят среднемагистральный самолет DC-3Т (BT-67) «Турбобаслер» Компании «ALCI» (г. Кейптаун, ЮАР), вполне пригодна для дальнейшего применения. Кроме того, в ходе текущего полевого сезона она интенсивно использовалась для выполнения комплексных аэрогеофизических работ АО «ПМГРЭ», выполняемых на самолете Ан-2.

Инструментальное измерение скоростей течения ледника в пунктах ранее представленных вех осуществлялось геодезическим методом. В работах применялась аппаратура, любезно предоставленная Институтом планетарной геодезии Дрезденского технического института, где полученные данные будут обработаны в ходе камерального периода 2017 г.

Важным аспектом полевых работ являлись рекогносцировочные исследования на леднике в районе сопки Ветров с целью выяснения принципиальной возможности использования этого участка для строительства дополнительной посадочной площадки. Было проведено визуальное обследование и GNSS геодезические измерения высот поверхности ледника, общим объемом 59,3 пог. км. Кроме того, выполнено четыре георадарных маршрута и отработано два пункта наклонных зондирований.

В ходе работ выяснено, что поверхность ледника на обширной территории прилжительно от долготы сопки Моренная на запад около 3 км и на юг около 2–3 км представляет собой слабонаклонную равнину, сложенную льдом с отдельными островами фирнизированного снега. Максимальные уклоны не превышают 40 угловых минут. В северо-западной части имеются выходы скальных пород, свидетельствующие

о наличии маломощного ледника на этой территории. Георадарные исследования, включая наклонные зондирования, показали, что ледник до глубины не менее 17 м сложен льдом, с $\varepsilon_{\text{eff}} = 3,2$ единиц, что практически соответствует классическому значению для холодного чистого льда (Мачерет, 2006). Расчет диэлектрической проницаемости осуществлялся в рамках модели наклонно-слоистой среды (Попов, 2017). Имеющиеся трещины перекрыты ледяными мостами мощность около 2 м, что делает их безопасными. По первым, сугубо предварительным оценкам, этот участок может быть потенциально пригодным для строительства аэродрома, в том числе для приема самолетов на колесном шасси. Однако для окончательного выяснения принципиальной пригодности этой территории требуются дополнительные инженерные изыскания.

РАБОТЫ В РАЙОНЕ СТАНЦИИ ПРОГРЕСС

Работы в районе отечественной станции Прогресс выполнялись с целью обеспечения безопасности трассы санно-гусеничных походов (СГП) при следовании на станцию Восток и обратно. Впервые в практике РАЭ они включали в себя выполнение аэрофотосъемки с помощью БАС. В работах использовался комплекс GeoScan 201 (Группа компаний Геоскан, Россия). Высокая точность плановой привязки была обеспечена совместным использованием как наземной, так и бортовой аппаратуры геодезического класса, что позволило определять положения центров проекций фотографических снимков с точностью 2–3 см в пространстве. В районе трассы следования СГП интересующего участка ледника была выполнена многократная АФС посредством беспилотной аэрофотосъемочной системы. Цель работ состояла в построении схемы скорости течения ледника и последующего составления прогноза вероятности образования трещин. Они выполнялись в три этапа с 16 января по 18 февраля. Полеты осуществлялись на относительных высотах 300–400 м. Реальный размер аэрофотоснимка на местности составил 312×208 м. Продольное и поперечное перекрытие между ними было выбрано 70 % и 50 % соответственно, что достаточно для последующего корректного совмещения аэрофотоснимков. Общая площадь покрытия составила 95 км². Детализация ортофотоплана составила 5,2 см/пиксель. Схема выполнения АФС показана на рис. 4.

В работах использовалась БАС GeoScan 201 бортовой номер 20089 (ООО Геоскан, Россия) со следующими техническими характеристиками: размах крыльев 230 см, максимальный взлетный вес 8 кг; продолжительность полета до 180 мин с крейсерской скоростью 75 км/ч; относительные высоты полетов от 100 до 4000 м; ограничения по скорости ветра при взлете до 10 м/с, во время полета до 20 м/с. Модель оснащена электрическим двигателем. На борту установлен GNSS приемник геодезического класса Topcon OEM B110. Старт осуществляется с катапульты, посадка выполняется на парашюте. БАС оснащена фотокамерой Sony DSC-RX1 с объективом 35 мм.

Для обработки материалов съемки использовался программный комплекс Agisoft PhotoScan Professional (Agisoft LLC, Россия). В ходе предварительной камеральной обработки подготовлены ортофотопланы вышеуказанных полигонов и цифровые модели поверхности. Опыт предыдущих аналогичных работ показывает, что детализация фотоплана, соответствующая 5,2 см/пиксель, вполне достаточна для идентификации и локализации трещин значимого размера, а также нанесения оперативной ситуации, связанной с природным и антропогенным воздействием (Черноглазов и др., 2006; Пряхин и др., 2015). В качестве примера на рис. 5 приведен фрагмент фотоплана района станции Прогресс.

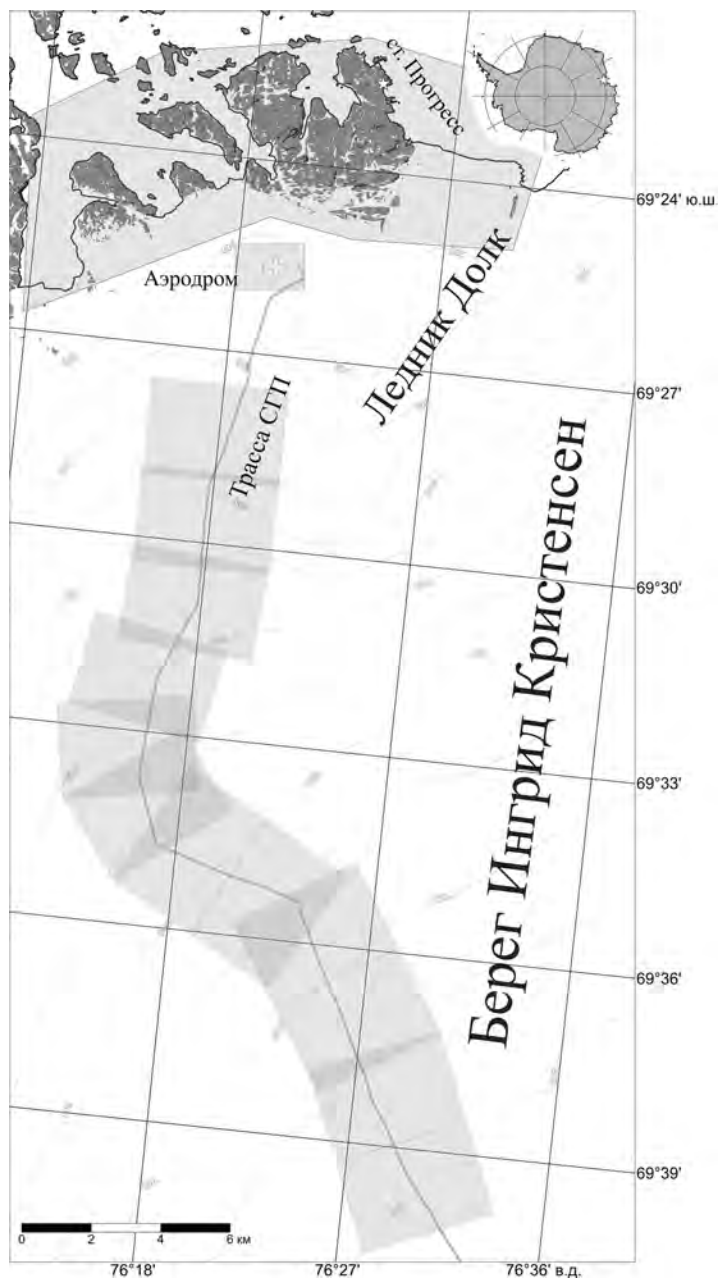


Рис. 4. Схема расположения аэрофотосъемочных работ в районе станции Прогресс и трассы следования СГП.

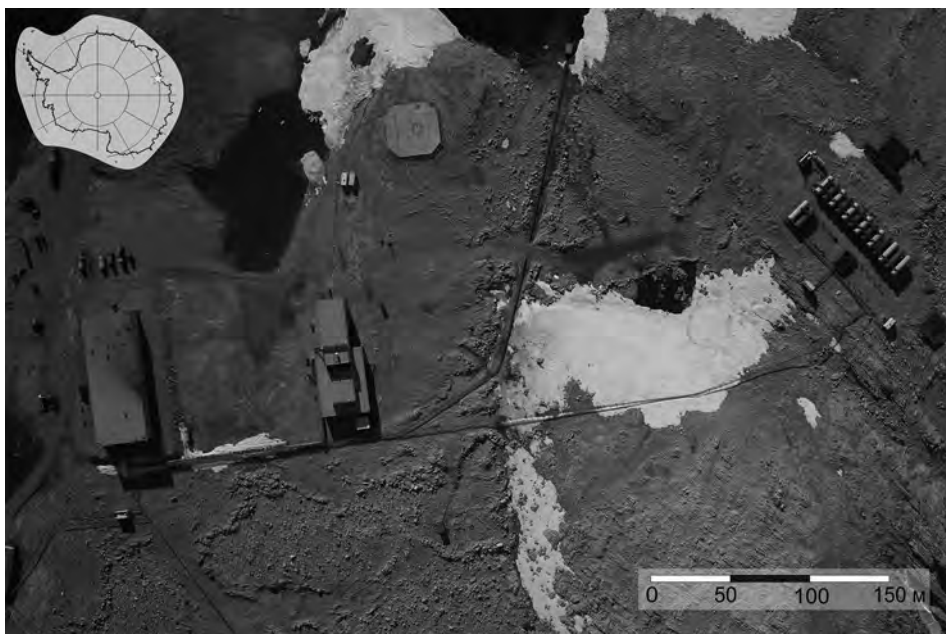


Рис. 5. Фрагмент фотоплана района станции Прогресс.

Помимо этого, была произведена аэрофотосъемка провала, образовавшаяся 30 января 2017 г. в западной части ледника Долк в районе полевой базы Прогресс-1. Ортофотоплан и трехмерная модель объекта позволили оценить максимальные линейные размеры образовавшейся депрессии, которые составили 183×220 м, а его площадь составила 40260 м^2 . Согласно предварительной оценке, глубина провала в первые дни составила 20–30 м; максимальная измеренная глубина составила 43 м. Приблизительный объем каверны составил 884013 м^3 (Роров et al., 2017).

Кроме вышеизложенных инженерных изысканий, направленных на решение логистических задач РАЭ, на замерзшей акватории фьорда Нелла (район станции Прогресс) выполнены опытно-методические работы (ОМР) для изучения электромагнитного лоцирования морского льда и подстилающего слоя морской воды. Они выполнялись 5 января 2017 г. в пункте с координатами $69^\circ 22,869'$ ю.ш., $76^\circ 21,777'$ в.д., который являлся частью многолетнего океанографического профиля ААНИИ. Эти работы завершали важный этап исследований, начатый в сезон 60-й РАЭ (Попов, Поляков, 2015). За день до проведения ОМР в указанном пункте осуществлялись измерения температуры и солености морской воды. Они показывают, что в интервале глубин от 1,6 м до 2,0 м имеется достаточно контрастная граница между пресной и морской водой. Диэлектрическая проницаемость сред является комплексной величиной. Вещественная часть воды различной солености постоянна, в то время как комплексная достаточно сильно зависит от нее (Мачерет, 2006). Таким образом, граница между пресной и соленой водой должна регистрироваться на временных георадарных разрезах, что и показали проведенные исследования. В целом исследования подтвердили перспективность применения георадарного лоцирования для изучения строения морского льда, а также определения мощности опресненного слоя морской воды.

Авторы благодарят руководителей отделов РАЭ В.В. Лукина и В.Л. Мартьянова, начальников: п/б Молодежная С.В. Межонова, станции Прогресс А.В. Миракина, Д.Г. Серова, станции Мирный В.М. Виноградова, А.В. Панфилова, СГП С.Н. Момырева за помощь в организации полевых работ; сотрудников РАЭ Г.Г. Аршакяна, А.В. Дробязко, А.И. Зыль, А.И. Куцурубубу, Е.В. Медведева, А.Л. Новикова, Д.П. Овечкина, С.П. Полякова, И.Г. Савченко, Н.В. Сандалюка за помощь в выполнении работ. Авторы благодарны Институту планетарной геодезии Дрезденского технического университета и лично М. Scheinert и L. Eberlein за предоставление геодезической аппаратуры и обработку полученных данных. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00579-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. Тверь: Изд-во АИС, 2006. 744 с.
- Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. М.: Научный мир, 2006. 392 с.
- МГА СССР. ВСН37-76 Инструкция по проектированию, строительству и оценке эксплуатационной пригодности снежных и снежноледовых аэродромов Антарктиды. Л.: Министерство гражданской авиации СССР, 1976. 67 с.
- Попов С.В. Определение диэлектрической проницаемости по годографам дифрагированных волн в рамках модели наклонно-слоистой среды // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. № 3. С. 83–87.
- Поляков С.П., Мартьянов В.Л., Лукин В.В. Снежно-ледовые взлетно-посадочные полосы Российской антарктической экспедиции — особенности подготовки и перспективы развития // Российские полярные исследования. 2015. № 2 (20). С. 31–35.
- Попов С.В., Межонов С.В., Поляков С.П., Мартьянов В.Л., Лукин В.В. Гляциогеофизические инженерные изыскания для подготовки летного поля в районе российской станции Мирный, Восточная Антарктида // Лед и снег. 2016. Т. 56. № 3. С. 413–426.
- Попов С.В., Поляков С.П. Георадарное лоцирование трещин в районе российских антарктических станций Прогресс и Мирный (Восточная Антарктида) в сезон 2014/15 года // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 1. С. 90–98.
- Попов С.В., Поляков С.П. Результаты гляцио-георадарных опытно-методических работ на морском льду в районе антарктической полевой базы Молодежная в сезон 60-й РАЭ (2014/15 г.) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 4 (106). С. 54–62.
- Попов С.В., Поляков С.П., Межонов С.В., Мартьянов В.Л., Лукин В.В. Опыт применения георадарного профилирования с целью выбора места для строительства посадочной площадки для самолетов на лыжном шасси на станции Мирный (Восточная Антарктида) // Российские полярные исследования. 2016. № 2 (24). С. 16–18.
- Попов С.В., Поляков С.П., Пряхин С.С., Мартьянов В.Л., Лукин В.В. Применение гляцио-геофизических методов для обеспечения безопасности логистических операций в Антарктиде // Российские полярные исследования. 2015. № 3 (21). С. 29–31.
- Попов С.В., Поляков С.П., Пряхин С.С., Мартьянов В.Л., Лукин В.В. Применение дистанционных методов для выбора строительства посадочной площадки для самолетов на лыжном шасси на станции Мирный, Восточная Антарктида // Природная среда Антарктики: современное состояние изученности: Мат-лы II Междунар. науч.-прак. конф., пос. Нарочь, Республика Беларусь, 18–21 мая 2016. Минск, 2016. С. 295–300.
- Попов С.В., Поляков С.П., Пряхин С.С., Мартьянов В.Л., Лукин В.В. Строение верхней части ледника в районе планируемой взлетно-посадочной полосы станции Мирный, Восточная Антарктида (по материалам работ 2014/15 года) // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. № 1. С. 73–84.

- Попов С.В., Эберляйн Л.* Опыт применения георадара для изучения строения снежно-фирновой толщи и грунта Восточной Антарктиды // *Лед и снег*. 2014. Т. 128. № 4. С. 95–106.
- Пряхин С.С., Попов С.В., Сандлюк Н.В., Мартьянов В.Л., Поляков С.П.* Аэрофотосъемка районов российских антарктических станций Мирный и Прогресс в сезон 2014/15 г. // *Лед и снег*. 2015. Т. 55. № 4. С. 107–113.
- Саватюгин Л.М.* Российские исследования в Антарктике. Т. III. 31 САЭ – 40 РАЭ. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 344 с.
- Черноглазов Ю.Б., Попов С.В., Мартьянов В.Л.* Проведение аэрофотосъемки на российской станции Прогресс в Восточной Антарктиде в 2004–2005 гг. // *Лед и снег*. 2006. № 100. С. 160–164.
- Looyenga H.* Dielectric constants of heterogeneous mixture // *Physica*. 1965. Vol. 31. № 3. P. 401–406.
- Popov S.V., Pryakhin S.S., D.P. Bliakharskii, G.V. Pryakhina, S.V. Tyurin.* Wide ice depression in Dalk Glacier, East Antarctica // *Ice and Snow*. 2017. Vol. 57. № 3 (in Press).

*S.V. POPOV, S.S. PRYAKHIN, D.P. BLIAKHARSKII, A.D. BELKOV,
V.L. KUZNETSOV, M.P. KASHKEVICH, S.V. TYURIN*

**MAIN RESULTS OF THE ENGINEERING SURVEY IN THE AREA
OF STATIONS MIRNY AND PROGRESS
AND FIELD BASE MOLODEZHNYAYA, EAST ANTARCTICA,
IN THE FIELD SEASON OF 62 RAE (2016/17)**

The results of engineering surveys in the area of the Mirny and Progress stations and field base Molodyozhnaya are discussed in the paper. During the austral summer field season of the 62nd RAE (2016/17) wide complex of the scientific and applied research has been carried out. It included the engineering, aerial photography, glaciological, drilling, geodetic and GPR investigations to ensure the safety of transport operations in the area of Russian stations Mirny and Progress (East Antarctica). The scientific tests to study sea ice have been carried out on the frozen water area of Nella Fjord, near Progress Station.

Keywords: glaciology, geophysics, GPR, aerial photography.