



Магнетит

морфизованы, образовав гнейсы с включением редких минералов. В результате исследований была собрана небольшая коллекция двух наиболее распространенных на полуострове Стурнес боросиликатов — призматина ($([\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg}](\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_5\text{Al}_4\text{Si}_2(\text{Si}, \text{Al})_2(\text{B}, \text{Si}, \text{Al})(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{22})$) и грандидьерита ($(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Al}_3(\text{BO}_3)(\text{SiO}_4)\text{O}_2$). Образцы были отобраны с предельной аккуратностью и точной координатной привязкой и будут использованы исключительно в научных целях для дальнейшего изучения истории геологической эволюции территории холмов Ларсеманн и поиска новых редких минералов. Образцы будут находиться в камнехранилище ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и в небольшом количестве переданы в ведущие минералогические музеи России.

Призматин на холмах Ларсеманн — это, как правило, черные крупные вытянутые кристаллы столбчатой формы, достигающие в длину до 10 см. Аналогичные скопления призматина были обнаружены не только на Призматиновом пике, но и в пределах пояса, простирающегося на 4 км через северный Стурнес.

Одной из важных составляющих геолого-геофизических работ в 68-й РАЭ стало измерение магнитной восприимчивости (или капаметрия) горных пород холмов Ларсеманн и прилегающих островов и нунатаков. Как известно, магнитное поле Земли состоит из трех компонентов: магнитного поля, генерируемого внешним жидким ядром Земли; токовыми течениями в атмосфере

и горными породами земной коры. Капаметр измеряет магнитную восприимчивость горных пород, которая характеризует способность горных пород к намагничиванию под действием геомагнитного поля и в целом информирует нас о содержании сильномагнитных минералов (парамагнетиков), наиболее значимыми из которых являются магнетит и титаномагнетит. Сопоставление результатов измерения магнитной восприимчивости с данными аэромагнитных съемок, выполненных в этом районе на больших площадях, позволяет нам установить природу магнитных аномалий, т. е. выявить, какие горные породы скрыты под ледниковым щитом.

Измерение уровня радиоактивного гамма-излучения горных пород, входившее в комплекс геолого-геофизических полевых работ, необходимо для изучения теплового потока в литосфере Восточной Антарктики. Вместе с последующим лабораторным определением содержания радиоактивных элементов, ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K , предполагается оценить вклад тех или иных горных пород, распространенных в районе исследований, в общий геотермальный тепловой поток в пределах изучаемой части кристаллического щита Восточной Антарктиды.

*В.М. Сергеева, И.А. Абдрахманов,
Г.Л. Лейченко (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»).*
Фото И.А. Абдрахманова, В.М. Сергеевой

ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ В РАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ПРОГРЕСС В СЕЗОН 68-й РАЭ

В ходе полевого сезона 68-й РАЭ в районе российской станции Прогресс (п-ов Брокнесс, оазис Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) в январе и феврале 2023 года был выполнен обширный комплекс гляциологических исследований на участках склона ледникового щита и выводного ледника Долк. Основной целью исследований являлось изучение динамики и особенностей строения тех участков ледников, которые располагаются в непосредственной

близости от логистических пунктов и инфраструктуры станции. Работы осуществлялись в пределах двух основных районов (рис. 1): на взлетно-посадочной полосе «Зенит» (ВПП «Зенит») и на участке выводного ледника Долк, приуроченного к району формирования большой депрессии в теле ледника в сезон 62-й РАЭ (2016/17). Комплекс выполненных гляциологических исследований включал в себя геодезические, геофизические и буровые работы.

Изыскания в районе аэродрома «Зенит» станции Прогресс (рис. 1, участок № 1) выполнялись в период с 8 января по 16 февраля 2023 года в границах имеющейся посадочной площадки и примыкающих к ней областей. Приоритетной задачей исследований являлось выполнение геодезической съемки (рис. 2а) и спутниковых GNSS-измерений в пределах гляциологических полигонов, установленных по периметру аэродрома. Измерения проводились многократно в течение полевого сезона для оценки скорости и направления течения ледника в летний период. Геофизические исследования методом георадиолокации с частотой зондирующих импульсов 400 МГц вдоль главной оси взлетно-посадочной полосы, а также на прилегающих к ВПП областях были направлены на изучение особенностей строения ледника, в том числе на выявление опасных трещин. В составе буровых работ выполнялось керновое бурение (рис. 2б) в 4 пунктах по оси ВПП для изучения плотностных и структурных особенностей ледникового строения в приповерхностной части.

Изыскания на участке ледника Долк (рис. 1, участок № 2) выполнялись в период с 12 по 25 января 2023 года. В рамках изучения особенностей строения ледника был обследован район, где в сезон 62-й РАЭ (2016/17) в результате прорыва внутриледникового озера в теле ледника Долк сформировался большой по площади провал. Впоследствии, в сезон 65-й РАЭ (2019/20), провал полностью заполнился водой, а в приповерхностной его части началось формирование ледяного покрова. Комплекс выполненных исследований прежде всего включал в себя георадарное профилирование с использованием антенн частотой 900 МГц (рис. 2в) и 38 МГц для определения мощности вновь образовавшегося покровного льда, а также глубин водоема, сформировавшегося

на месте провала. В ходе буровых работ выполнялись промеры мощности ледяного покрова и глубин озера, а также отбор керна озерного льда. По результатам кернового бурения был выполнен температурный, плотностной и стратиграфический анализ льда и осуществлен отбор проб для проведения изотопного анализа. Кроме того, для изучения температурного режима закрытого водоема проводились термометрические измерения на глубину озера до 26,5 м. Всего в рамках проведения полевых работ было выполнено 105,8 погонных километров георадарных маршрутов, 691 геодезическое измерение, 6 пунктов контрольного бурения озерного льда,

5 пунктов кернового бурения с суммарной мощностью отобранных кернов 23,6 погонных метра, а также отобрано 15 проб на изотопный состав. Запись термометрических измерений выполнялась в течение 2 суток.

По результатам работ на участке № 1 в районе ВПП «Зенит» были получены данные о строении ледниковой толщи до глубины порядка 30 м и о динамике ледника в радиусе 1200 м от аэродрома. По результатам кернового бурения была установлена мощность накатанной снежной плиты на поверхности посадочной площадки, которая составила 0,85 м в начале полосы, 1,09 м в конце и 1,7 м в центральной ее части. Согласно плотностному и стратиграфическому анализу, среда под снежной плитой до глубины 5,5 м представляет собой преимущественно фирн с ледяными прослоями толщиной до 0,1 м.

Георадарное профилирование на участке работ позволило практически повсеместно выявить границу между снежно-фирновой толщей и льдом. На рис. 3а представлен временной георадарный разрез, полученный при выполнении съемки по маршруту параллельно оси аэродрома «Зенит». Граница «фирн-лед» фиксируется по изменению интенсивности отраженного сигнала на

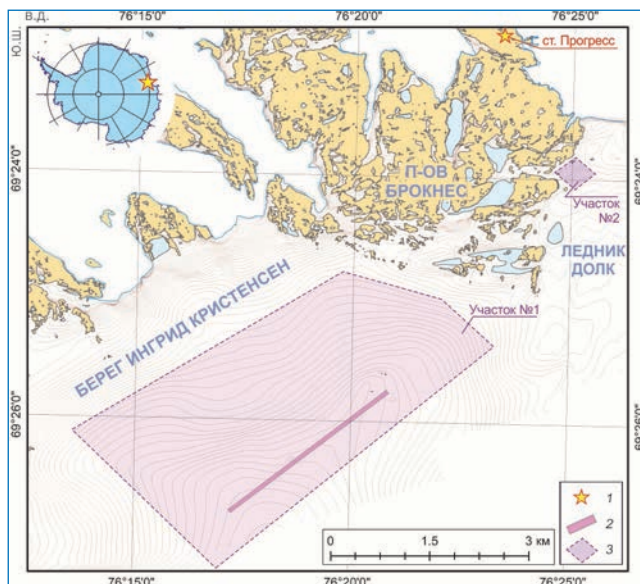


Рис. 1. Схема расположения участков работ:
1 — расположение станции Прогресс; 2 — взлетно-посадочная полоса «Зенит»;
3 — границы участков работ

Рис. 2. Выполнение полевых работ:

а — тахеометрическая съемка; б — керновое бурение; в — георадарное профилирование



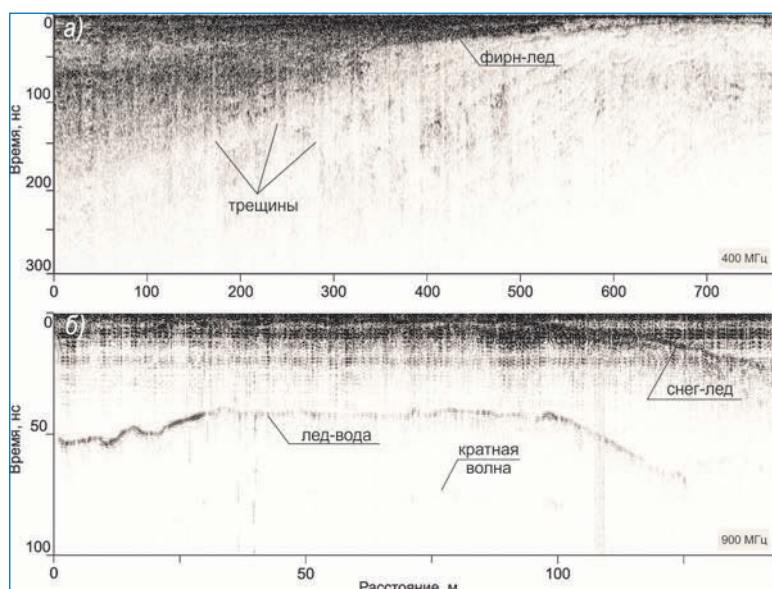


Рис. 3. Результаты выполнения геофизических работ:
 а — временной разрез по профилю, параллельному оси ВПП «Зенит»;
 б — временной разрез на участке ледника Долк

волновом поле, связанному с различием в плотностных и структурных особенностях сред. Результаты обработки данных позволили оконтурить основные зоны наиболее активного накопления снежных осадков, а также области, в пределах которых аккумуляция осадков практически отсутствует. Помимо этого, на временных разрезах было выявлено большое количество трещин на различных глубинах от дневной поверхности.

Геодезические измерения в пределах гляциологических полигонов позволили зафиксировать величину смещения гляциологических вех от 5 до 50 см за временной период 38 дней. Было установлено, что направления течения ледника в начале, центральной части и конце аэродрома значительно отличаются, что является причиной формирования разрывных нарушений в теле ледника в районе ВПП. При сопоставлении данных о положении трещин, выявленных на георадарных разрезах, и результатов геодезических измерений установлено, что большая часть трещин располагается именно в районах с наиболее изменчивой динамикой.

На участке № 2 выполненные исследования позволили детально изучить конфигурацию озера, образовавшегося на месте провала в леднике Долк. По результатам георадарной съемки были получены данные о мощности льда и глубинах водоема. На рис. 3б представлен пример временного георадарного разреза на частоте 900 МГц. На волновом поле фиксируется интенсивное отражение на границе «лед–вода», сопровождающееся формированием кратной волны в связи с переотражением сигнала. По данным георадиолокации, а также контрольного бурения, мощность сформировавшейся толщи льда варьирует в среднем в диапазоне 2,6–3,5 м. Однако отмечается, что в краевой части водоема, примыкающего к телу ледника Долк, мощность льда возрастает до значений 5,5–6,0 м. По данным георадарной съемки на частоте сигнала 38 МГц были получены отражения от большей части ложа озера. Наибольшая глубина, от которой было получено отражение электромагнитного сигнала, составила 27 м.

По результатам кернового бурения установлено, что покровный лед озера сформировался в результате постепенного намерзания льда на границе «лед–вода»,

что подтверждается вертикальным направлением кристаллов. С глубиной отмечается уменьшение количества воздушных пузырьков, лед становится более прозрачным, однако в целом весь образец керна представляет собой однородный озерный лед средней плотностью 913,5 кг/м³.

Результаты выполненного комплекса исследований в районе ВПП «Зенит» позволят в дальнейшем сформировать представление о динамических процессах, определяющих гляциологическую ситуацию в районе аэродрома, а также создать динамическую модель приповерхностной части ледника для обоснованного выявления зон потенциального формирования трещин. Исследования, выполненные на участке ледника Долк, дадут возможность изучения эволюции внутриледниковых водоемов, а также оценки безопасности проезда транспорта на этом участке выводного ледника.

Авторы благодарят Российскую антарктическую экспедицию за возможность проведения исследований и предоставленное геофизическое оборудование; начальника сезонной экспедиции А.Н. Николаева, начальника станции Прогресс 67-й РАЭ Д.А. Мамадалиева и 68-й РАЭ Д.В. Шелелева за организацию и всестороннюю помощь в проведении полевых работ, главных специалистов РАЭ С.П. Полякова и С.В. Межоннова, сотрудников ОАО «Аэрогеодезия» и сотрудников зимовочного состава станции Прогресс Д.А. Емельянова, А.Ю. Квашина, И.В. Нагайцева за помощь в проведении полевых работ, сотрудника ААНИИ В.В. Харитонова за предоставление бурового оборудования, а также Институт наук о Земле СПбГУ за предоставленную геофизическую и геодезическую аппаратуру. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 22-27-00266 «Разработка математической модели развития ледникового покрова с последующим применением для описания субгляциальных гидрологических процессов в районе подледникового озера Восток, Восточная Антарктида».

**А.А. Суханова, Д.В. Банцев (СПбГУ),
 Е.В. Шиманчук (ААНИИ),
 С.В. Попов (СПбГУ, АО «ПМГРЭ»)**