

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ, ГЛЯЦИО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА БРОКНЕС (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА, РАЙОН СТАНЦИИ ПРОГРЕСС) В СЕЗОН 63-Й РАЭ

В ходе летнего полевого сезона 63-й РАЭ (2017/18) в восточной части полуострова Брокнес были выполнены комплексные ледоисследовательские инженерные изыскания для нужд РАЭ ФГБУ «АНИИ», прежде всего с целью обеспечения безопасности транспортных операций Российской антарктической экспедиции в окрестностях станции Прогресс. Работы включали в себя гляциологические, буровые, геодезические, гидрологические и геофизические исследования. Они выполнялись отрядом, состоящим из сотрудников АО «ПМГРЭ», ФГБУ «АНИИ», а также студентов кафедр гидрологии суши и геофизики Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета в период со 2 января по 6 февраля 2018 года.

В конце летнего полевого сезона 62-й РАЭ, 30 января 2017 года в краевой части ледника Долг в районе полевой базы Прогресс-1 в ходе катастрофического подледникового паводка образовался провал размером 183×220 м и глубиной, достигающей 43 м. Он разрушил участок дороги, соединяющей российскую станцию Прогресс и китайскую станцию Зонгшан с аэродромом и пунктом формирования санно-гусеничных походов во внутренние районы Антарктиды на станции Восток и Кунлун (рис. 1). В зимний период для обеспечения штатной работы аэродрома и подготовки походов на станцию Восток была организована временная дорога вдоль северо-западного берега озера Прогресс. Летом, в период интенсивного приповерхностного таяния, передвижение гусеничной техники осуществлялось через каменистые склоны скал (рис. 2). Оба варианта имеют значительные недостатки: трасса через озеро может безопасно функционировать лишь в холодный сезон, а дорога через скалы приводит к преждевременному износу ходовой части используемой гусеничной техники, которая предназначена для передвижения по снежникам и ледникам. Таким образом, исходя из оперативной обстановки и текущих нужд станции Прогресс, а также Российской антарктической экспедиции в целом, в ходе летнего полевого сезона решались три задачи: (1) изучение провала как

Рис. 1. Провал, образовавшийся в леднике Долг, район п/б Прогресс-1, Восточная Антарктида: вид с ледника (а) и с воздуха (б).
Фото А.В. Миракина

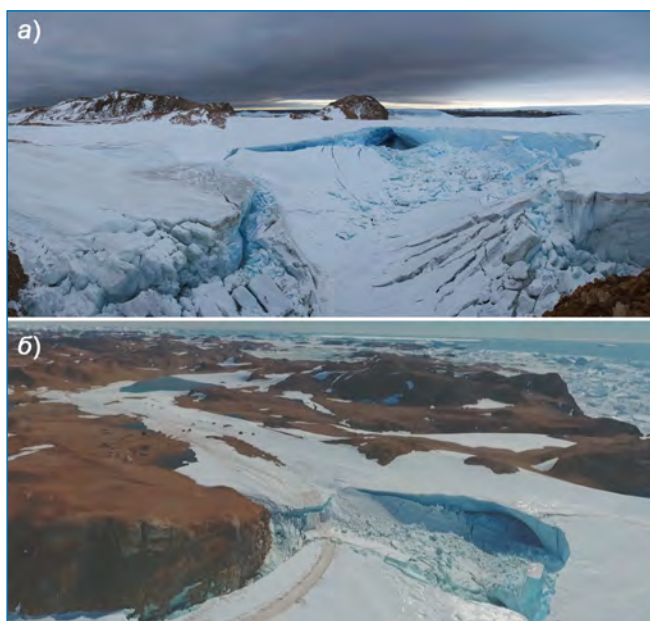
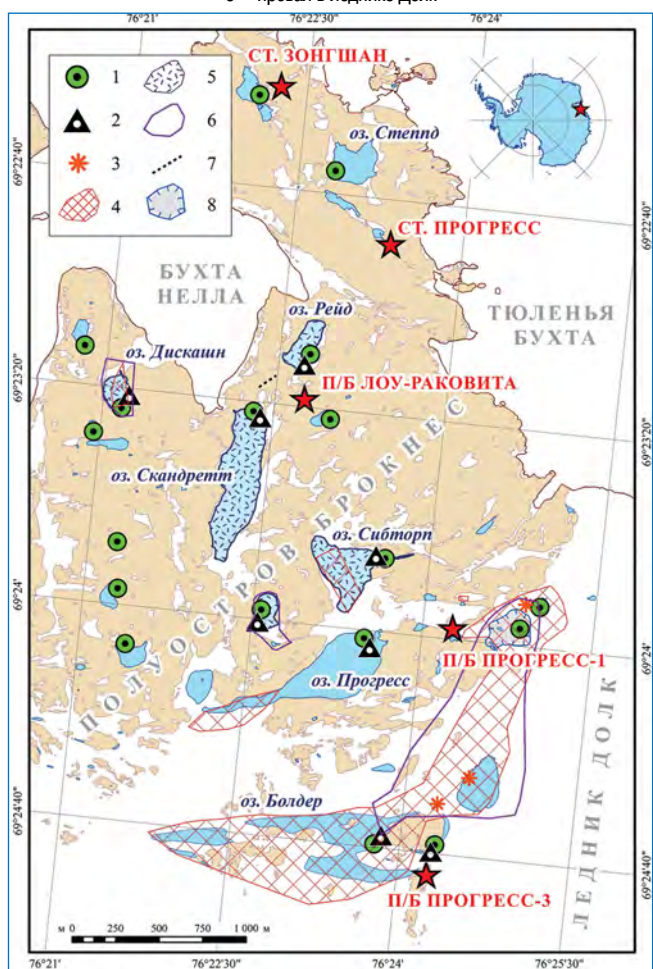


Рис. 2. Варианты организации новой трассы после образования провала: 1 – старая трасса, разрушенная провалом; 2 – зимняя трасса через озеро Прогресс; 3 – трасса через скальные массивы; 4 – положение новой трассы в обход провала; 5 – контур провала по состоянию на 8 января 2018 года

уникального гляциологического объекта, (2) выяснение степени пригодности участка трассы, проходящей через озеро Прогресс, для ее использования в летний период и организация новой дороги в обход провала, безопасной с позиций наличия трещин и возможных подледниковых паводков, и (3) изучение гидрологических объектов, потенциально опасных для инфраструктуры РАЭ. Схема расположения и состав работ показаны на рис. 3.

Рис. 3. Схема расположения полевых работ в восточной части полуострова Брокнес: 1 – водомерные посты; 2 – пункты отбора проб воды на химический анализ; 3 – пункты бурения; 4 – георадарное профилирование; 5 – батиметрические съемки; 6 – тахеометрические работы; 7 – электроразведочный профиль; 8 – провал в леднике Долг



Обследование участка трассы, проходящей через озеро Прогресс, выполнялось 2 и 3 января 2018 года. В работах использовались георадары OKO-2 (частота зондирующих импульсов 150 МГц) и GSSI SIR-3000 (частота зондирующих импульсов 900 МГц). Плановая привязка осуществлялась посредством приемоиндикатора Garmin GPSMap 62s. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что проезд по этому участку небезопасен ввиду малой мощности снежного покрова при значениях глубин озера, достигающих 2 м и более. Таким образом, в период антарктического лета при интенсивном приповерхностном таянии зимняя трасса непригодна для эксплуатации.

Ввиду возникшей насущной необходимости обеспечения безопасных транспортных операций требовалось оперативно найти новый участок для организации по нему всепогодной трассы. Исходя из особенностей рельефа местности, в качестве оптимального варианта был избран участок ледника Долк в обход провала между п/б Прогресс-1 и Прогресс-3 (рис. 2). Визуальное обследование и георадарное профилирование вдоль будущей новой трассы было завершено 19 января 2018 года. Выявлено, что трещины значимого размера на трассе отсутствуют, а трещины меньшего размера в большинстве своем заполнены талой водой либо льдом. В подавляющем большинстве они вертикальные, снежные мосты над ними отсутствуют. Кроме того, в теле ледника не выявлено каких-либо каверн, способных стать причиной возникновения пусть даже незначительных провалов. Таким образом, на основании полученных данных, исследованный участок в целом представляется безопасным при разумной эксплуатации.

20 января 2018 года, в наименее благоприятный для движения транспортной техники период максимального приповерхностного таяния, предложенный вариант будущей трассы был показан начальникам станции Прогресс А.В. Миракину и А.В. Воеводину, а также заместителю начальника станции по ТО И.В. Киму. Он был полностью одобрен, и 23 января участок новой дороги в районе провала был обвехован. Одновременно с обвеховкой трассы производилась ее укатка специализированной аэродромной техникой (рис. 4а). В результате

дорожное покрытие приобрело жесткость, а трещины были забучены путем заваливания их снегом (рис. 4б, в). С этого момента новая трасса между станцией Прогресс, аэродромом и пунктом формирования санно-гусеничных походов начала функционировать.

Как указывалось выше, разрушение дороги, соединяющей станцию Прогресс и аэродром, обусловлено провалом, образовавшимся в результате прорыва озера Болдер. Таким образом, обеспечение безопасности инфраструктуры станции напрямую связано с изучением гидрологических объектов, расположенных в непосредственной близости от нее. В ходе полевого сезона был осуществлен комплекс мероприятий, направленных на выявление потенциально прорывоопасных озер в восточной части полуострова Брокнес. Основными объектами для изучения были выбраны озера, находящиеся вблизи отечественной станции Прогресс, а также полевых баз Прогресс-1 и Прогресс-3 (рис. 3). Кроме того, особое внимание уделялось тем водоемам, которые уже прорывались. Работы предусматривали оборудование временных водомерных постов для получения информации об уровненом режиме водных объектов, выполнение батиметрических съемок, детальное изучение озер Болдер и Дискашн ввиду их недавнего прорыва, а также отбор проб воды для проведения гидрохимического анализа.

В ходе исследований получены данные об уровненом режиме восьми наиболее представительных озер восточной части полуострова Брокнес: Рейд, Скандрет, Дискашн, LN73, Прогресс, Сибторп, «Ледяное» и Болдер. Они наглядно демонстрируют, что для этих водоемов характерно плавное изменение высоты водной поверхности. В частности, в середине декабря 2017 года, еще до начала полевого сезона, уровень в озере Рейд упал примерно на 30 см, затем установился стабильный режим с явной тенденцией на увеличение. Минимальные значения наблюдались в период с конца декабря по начало января и составили 86,4 см над нулем графика водомерного поста. Максимальная высота уровня воды зарегистрирована 21 января 2018 года. Это связано с тем, что устойчивые положительные температуры воздуха привели к

интенсивному сокращению снежников, а талые воды пошли на пополнение водной массы озера Рейд. Во второй половине января рост уровня водной поверхности сменился на незначительный спад с последующей стабилизацией. Амплитуда колебаний уровня воды составила 11,5 см.

По результатам промеров глубин составлены батиметрические схемы и определены основные морфометрические характеристики изученных озер (линейные размеры, площадь водного зеркала, объем воды, максимальная и средняя глубины), составлены батиграфические и объемные кривые, характеризующие объемы и площади водоемов при различных уровнях воды. В качестве примера на рис. 5 представлена батиметрическая схема озера Скандрет.

В ходе текущего полевого сезона исполнителям настоящих работ довелось наблюдать результат прорывного паводка из озера Дискашн (рис. 3). Рост температуры окружающего воздуха в середине января привел к интенсивному таянию снежников и ледников, которые начали переполнять озеро. В итоге

Рис. 4. Обвеховка и укатка новой трассы, проложенной в обход провала (а) и качество дорожного покрытия (б, в). Январь–февраль 2018 года. Фото. С.В. Попова



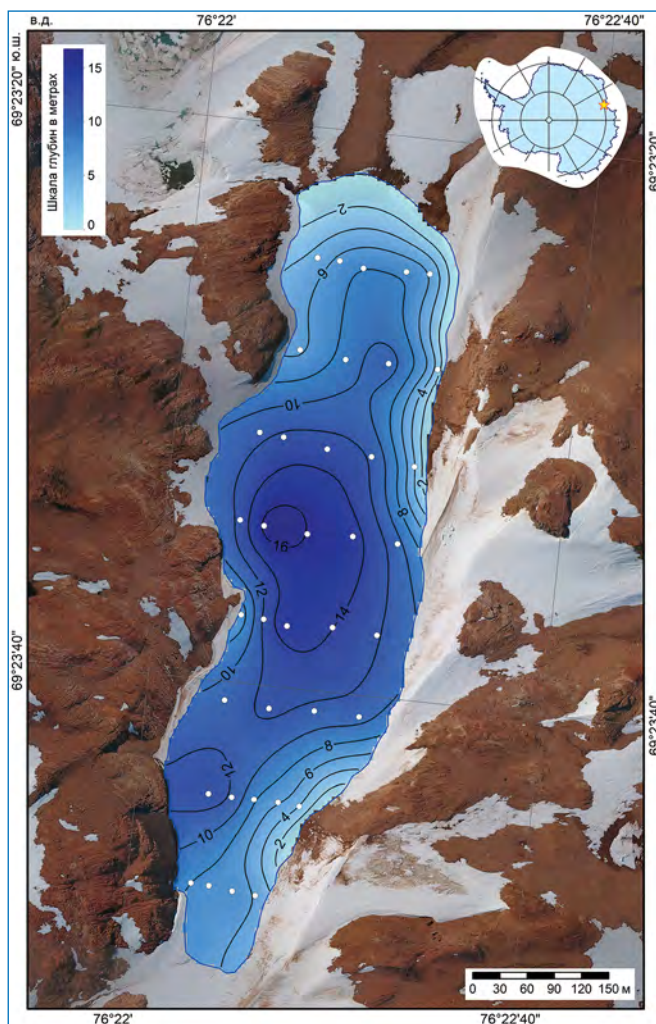


Рис. 5. Схема глубин озера Скандрет.

Сечение изобат 2 м; белыми кружками показаны пункты промера глубин. На схеме используется ортофотоплан, подготовленный по данным аэрофотосъемки, выполненной 8 января 2017 года А.В. Миракиным

22 января 2018 года произошел прорыв озера, в результате чего уровень воды в нем понизился примерно на 0,95 м. При прохождении паводка потоки воды сформировали значительный по размерам тоннель в снежнике (рис. 6). Согласно наблюдениям прошлых лет, прорывы озера Дискашн происходят практически ежегодно, что делает этот объект перспективным полигоном для изучения прорывных паводков, имеющих катастрофический характер.

Изучение провала, расположенного в западной части ледника Долк, и примыкающих к нему районов между полевыми базами Прогресс-1 и Прогресс-3 осуществлялось одновременно с инженерными изысканиями, выполнявшимися на новом участке трассы, и гидрологическими наблюдениями на озерах. Они были тесно связаны между собой как территорией, так и комплексом используемых методов. Эти работы включали в себя визуальные наблюдения, тепловое и механическое бурение с отбором керна, тахеометрические измерения высот поверхности ледника, георадарное профилирование и электромагнитные зондирования по системе ОГТ, а также отбор проб воды на химический анализ (рис. 3). Эти исследования, помимо решения указанных выше прикладных задач, имеют важное научное значение. Провал образовался в результате прорыва озера Болдер, расположенного в районе п/б Прогресс-3 (рис. 3). Его воды устремились вниз по леднику Долк, проникли в трещины и образовали мощный подледный поток, частично выходящий на дневную поверхность.



Рис. 6. Тоннель, выработанный потоком воды при прорыве озера Дискашн. Январь 2018 года.

Фото А.С. Борониной

Они начали переполнять подледниковый водоем. В конечном счете, когда механические напряжения в озерной котловине достигли предельных значений, произошел прорыв и вытекание воды в залив Прюдс. Кровля образовавшейся каверны не выдержала, и произошло ее обрушение с образованием грандиозного по масштабам провала (рис. 1). Нечто аналогичное происходит и под антарктическим ледником. Во всяком случае, проседание его поверхности над одним из подледниковых водоемов документально зафиксировано по данным спутниковой альтиметрии, что и послужило началом интенсивных исследований в этой области. Таким образом, изучение образовавшегося провала способствует лучшему пониманию процессов формирования и развития катастрофических подледниковых паводков и тесно связано с вопросами фундаментальных научных исследований в полярных регионах нашей планеты.

В ходе полевых работ выполнено: георадарное профилирование в объеме — 31,4 пог. км; электромагнитных зондирований по системе ОГТ — 2; открыто водомерных постов — 8; проведено наблюдений за уровнем воды — 131; проведено измерений температуры воды — 102; отобрано проб на химический анализ — 40; отработано пунктов промеров глубин — 876; отработано тахеометрических пунктов — 985; пробурено скважин в озерном льду и леднике — 46; отобрано и описано ледяных кернов — 4; произведено измерений баронивелирования — 42; отработано геоэлектрических профилей — 1.

Авторы благодарят начальника станции Прогресс 62-й РАЭ А.В. Миракина, начальника станции Прогресс 63-й РАЭ А.В. Воеводина и сотрудников станции Прогресс, А.А. Коняева, Р.Р. Латыпова, В.В. Сощенко и А.В. Теплякова за помощь в проведении работ, а также А.В. Миракина за предоставление фотоматериалов; С.В. Гущина за предоставление метеорологических данных; генерального директора ООО «Геофиз-Поиск» В.И. Кашкевич, а также сотрудников кафедр геофизики и гидрологии суши Института наук о Земле СПбГУ А.М. Белова, М.П. Кашкевич, Т.В. Паршину, Г.В. Пряжину, С.В. Тюрина и А.А. Четверову за предоставленную геофизическую и гидрологическую аппаратуру, а также помощь в ее подготовке к полевому сезону.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 180500421 «Особенности формирования и развития паводков подледниковых водоемов Антарктиды».

С.В. Попов (АО «ПМГРЭ»), А.С. Боронина (СПбГУ), С.Д. Григорьева (СПбГУ), А.А. Суханова (СПбГУ), Г.А. Дешевых (АНИИ)