



**МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ
ЭКОЛОГИИ И КЛИМАТА»,
ПОСВЯЩЕННОЙ ВСЕМИРНОМУ ДНЮ ЛЕДНИКОВ»
18 – 20 МАРТА 2023 ГОДА**



ДУШАНБЕ

**Филиал Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе**

МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ
ЭКОЛОГИИ И КЛИМАТА»,
посвященной Всемирному дню ледников»
18 – 20 марта 2023 года



Душанбе – 2023

УДК 574 + 551.58 (063.3)

ББК 28.081 + 26.234.7

М - 34

Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты экологии и климата», посвященной Всемирному дню ледников» (18-21 марта 2023 года), Душанбе. - 2023, - 196 с.

Под общей редакцией

д.ю.н. Диноршох А.М.

Ответственный редактор

д.т.н. Умарова Т.М.

Редакционная коллегия:

Бобоев Ш.А., Одинабеков Д.М., Салихов Ф.С.

Редакторы:

Акбарова В.А., Касымова Ф.А., Рахматова Ш.И., Фазилова Ш.К.

В сборнике представлены материалы, включённые в программу Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты экологии и климата», посвященной Всемирному дню ледников».

Данный сборник предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов, магистрантов и студентов старших курсов высших учебных заведений.

© Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе, 2023

6. Ширинбоев Д.Н. Изменение гидрологического режима реки Зеравшан под влиянием антропогенных факторов: Автореферат доктора философии (PhD) по геогр. наукам: 11.00.03. – Т., 2021. – 45 с.
7. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М., Трофимова Е.Б., Шенцис И.Д. Математическое моделирование процесса стока горных рек // Труды САНИГМИ. – 1972. – Вып. 81(76). – 152 с.
8. Денисов Ю.М., Агальцева Н.А., Пак А.В. Усовершенствованный подход к построению математической модели формирования стока горных рек // Международная научно-практическая конференция Инновация – 2008, 24-25 октября 2008. Ташкент, 2008. – С. 313-314.
9. Агальцева Н.А., Пак А.В. Автоматизированные долгосрочные прогнозы стока горных рек Средней Азии // Вопросы кибернетики. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. – 1994. – Вып. 150. – С. 112-123.
10. Денисов Ю.М., Агальцева Н.А., Пак А.В. Автоматизированные методы прогноза стока горных рек Средней Азии. – Ташкент. САНИГМИ, 2000. – 160 с.
11. Карандаева Л.М. Оценки стока реки Вахш на отдельные месяцы вегетационного периода // Труды НИГМИ. – 2007. – Вып. 8(253). – С. 38-47.

УДК 556.5, 550.3

СОСТОЯНИЕ КАСКАДА ПРОРЫВНЫХ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЁР В РАЙОНЕ СТАНЦИИ НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ (ОАЗИС ШИРМАХЕРА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА) ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Кашкевич М.П.¹, Боронина А.С.^{1,2}, Романова Н.Е.³

**Санкт-Петербургский государственный университет¹
(Санкт-Петербург, РФ)**

Государственный гидрологический институт² (Санкт-Петербург, РФ)

ООО «ГеофизПоиск»³ (Санкт-Петербург, РФ)

m.kashkevich@spbu.ru

***Аннотация.** Озёра антарктических оазисов, отделенные друг от друга снежно-ледовыми плотинами, нередко формируют целые каскады и характеризуются прорывоопасностью. Каскад озёр Ледяное – Южное – Станционное, расположенный вблизи российской антарктической станции Новолазаревская (оазис Ширмахера, Восточная Антарктида), является типичным представителем системы прорывоопасных озёр и может рассматриваться как эталонный объект. Близость указанных водных объектов к станции и расположение трассы на одной из снежно-ледовых перемычек обуславливают необходимость их мониторинга. В статье показана эффективность георадиолокации для получения морфометрических характеристик приледниковых озёр, изучения внутреннего строения снежно-ледовых плотин и оценки возможных сценариев прорывов озёр.*

***Ключевые слова:** георадарное профилирование, снежно-ледовые плотины, прорывные паводки, оазис Ширмахера, Восточная Антарктида.*

THE CONDITION OF THE CASCADE OF OUTBURST GLACIAL LAKES IN THE AREA OF NOVOLAZAREVSKAYA STATION (SCHIRMACHER OASIS, EAST ANTARCTICA) ACCORDING TO GROUND-PENETRATING RADAR DATA

St. Petersburg State University¹ (St. Petersburg, RF)

State Hydrological Institute² (St. Petersburg, RF)

ООО «GeophysPoisk»³ (St. Petersburg, RF)

***Annotation.** The lakes of the Antarctic oases, separated from each other by snow-ice dams, often form cascades which are characterized by an outburst hazard. The cascade of lakes Ledyanoe – Yuzhnoye – Stationnoye, located near the Russian Antarctic Novolazarevskaya Station (Schirmacher oasis, East Antarctica), is typical of the system of outburst lakes and can be considered a model object. The proximity of these lakes to the station and the location of the track on one of the snow-ice dams necessitate their monitoring. The article shows the effectiveness of the ground-penetrating radar (GPR) for obtaining morphometric characteristics of near-glacial lakes, studying the internal structure of snow-ice dams and assessing possible scenarios of lake outbursts.*

***Keywords:** ground-penetrating radar, snow-ice dams, outburst floods, Schirmacher Oasis, East Antarctica.*

Антарктические оазисы - участки суши, не покрытые льдом и характеризующиеся развитой гидрографической сетью, все больше привлекают внимание исследователей. С практической точки зрения они удобны для организации круглогодичных полярных станций, сезонных баз и лагерей, с научной – востребованы для изучения различных природных объектов и явлений *in situ* для решения фундаментальных проблем истории развития региона, вопросов изменения климата и прочее.

Характерной чертой оазисов является наличие в их пределах непромерзающих озёр. Будучи подпруженными снежно-ледовыми перемычками, они могут формировать целые каскады, склонные к прорывным паводкам в период антарктического лета [1]. Иногда такие явления имеют по истине катастрофические последствия, как в случае прорыва водоёма в западной части ледника Долк (оазис Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) с последующим образованием крупного провала на месте действующей тогда трассы [2, 3]. В ряде других случаев подобное явление также может нанести существенный урон инфраструктуре станций и требует тщательного изучения.

В сезон 67 РАЭ, с начала ноября по середину декабря 2021 г., в соответствии с утверждённым руководством РАЭ Программой работ, авторами выполнялись комплексные геофизические, буровые и геодезические работы на озёрах и ледниках оазиса Ширмахера в Восточной Антарктиде [4]. Актуальность исследования каскада озер Ледяное – Южное – Станционное, расположенного вблизи российской антарктической станции Новолазаревская, обусловлена

обеспечением безопасности логистических операций: трасса, соединяющая её и аэродром, проходит по одной из снежно-ледовых перемычек каскада, а непосредственная близость озёр к станции приводит к необходимости мониторинга их состояния. Работы были направлены на решение следующих задач: 1) определение морфометрических характеристик озёр каскада; 2) изучение геоморфологических и гляциологических особенностей прилегающих территорий; 3) изучение внутреннего строения снежно-ледовых перемычек и оценка их прорывоопасности.

В качестве основного метода была выбрана *георадиолокация*, которая по праву признана одним из наиболее эффективных дистанционных методов изучения внутреннего строения ледника [5, 6, 7]. Георадарное профилирование выполнялось с использованием георадара ОКО-2 с экранированными антеннами АБ-150 и АБ-400 (частота зондирующих импульсов 150 МГц и 400 МГц соответственно). Перед началом работ на озёрах и гротах были выполнены предварительные опытно-методические работы, направленные на выбор оптимальных антенн и параметров съёмки для наиболее надёжного картирования исследуемых объектов. Георадарное профилирование осуществлялось по равномерной сети маршрутов. При изучении линейных структур (внутриледниковых каналов) - в крест их простирания. При этом, кроме рядовых маршрутов сети, обязательно выполнялись секущие для взаимной увязки данных. Плановая привязка осуществлялась с использованием спутникового приёмника GARMIN GPSmap 64st. Работы выполнялись пешим порядком. При использовании георадара ОКО-2 для определения расстояний и повышения точности привязки применялся одометр. Схема расположения работ представлена на рисунке 1.

На перемычке между озёрами Южное и Станционное дополнительно выполнены работы методом общей глубинной точки (ОГТ) с использованием раздвижных генераторной и приемной антенн для получения годографа ОГТ и определения скорости распространения электромагнитной волны в среде.

Тахеометрическая съёмка была проведена с использованием тахеометра Trimble M3 DR 5" для получения актуальной информации о рельефе района на момент выполнения работ. Планово-высотная привязка осуществлялась к пунктам государственной геодезической сети. Погрешность тахеометрической съёмки составила первые сантиметры в плане и по высоте.

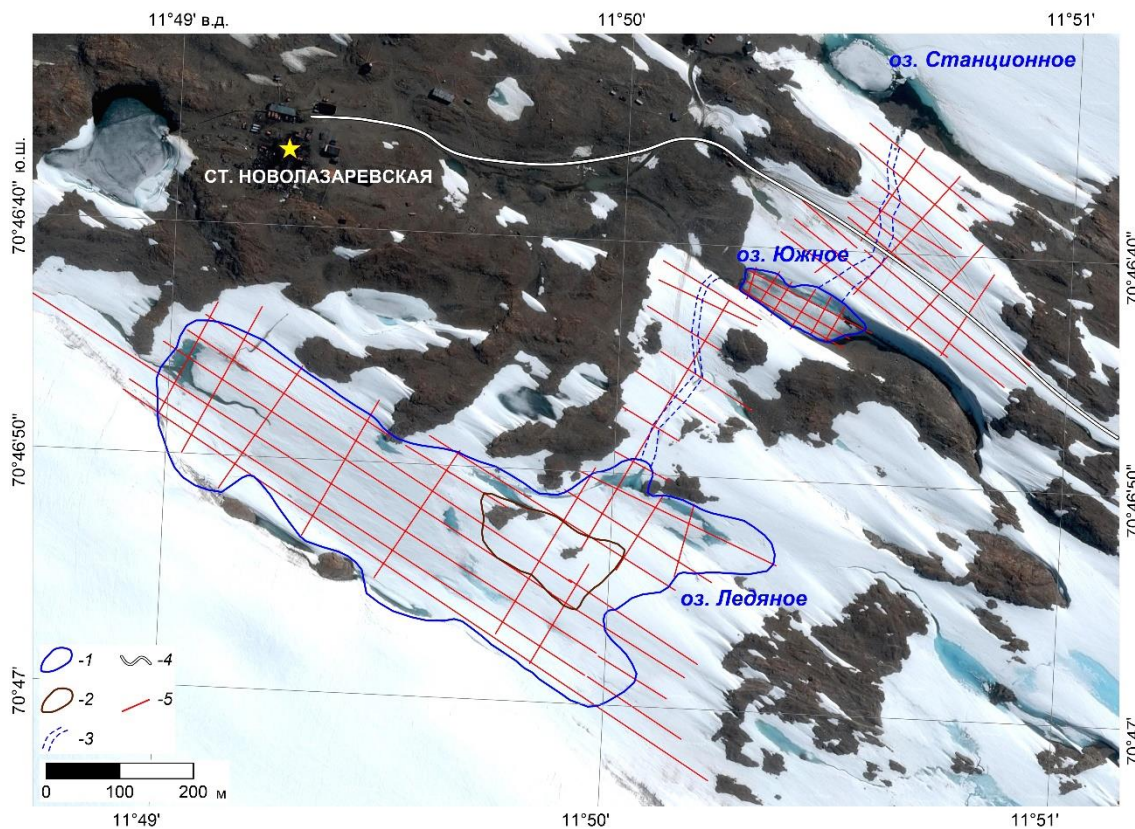


Рисунок 1. Каскад озёр Ледяное-Южное-Станционное

1- береговая линия озера; 2- остров; 3- внутриледниковые каналы; 4- действующая трасса; 5- георадарные маршруты.

Шнековое бурение выполнялось для заверки и дополнения результатов георадарного профилирования и осуществилось при помощи дрели-шуруповерта Makita DDF45 1RFE 18 В, к которой присоединялись шнеки Kovacs длиной 1 м и диаметром 50 мм.

Обработка данных георадарной съёмки выполнялась по стандартной методике, включающей в себя коррекцию амплитуд, удаление «звона» (реверберации) и фильтрацию [8] с применением компьютерных пакетов Geoscan32 и Prizm v 2.60. Ввиду широкого диапазона изменения скоростей распространения электромагнитных волн в средах (лед, вода, воздух), для получения глубинных разрезов применялась послойная обработка. Для участков, где невозможно было однозначно определить, чем представлен разрез (лед или снежно-фирновая толща), дополнительно выполнялось определение диэлектрической проницаемости по дифрагированным волнам и годографу ОГТ. Для снега значение диэлектрической проницаемости составило 1,7, для льда по годографам дифрагированной волны и методом ОГТ соответственно, полученное значение составило 3.17 – 3.18 единиц. Отдельные точки были заверены бурением. Такой подход позволил более точно разделить области

распространения льда и фирна, правильно ввести значения скоростей и получить достоверное положение границ.

В ходе георадарной съёмки была опробована методика выявления и оконтуривания подледниковых озёр, предложенная в работе [9]. Она состоит в выделении на радарограммах трех критериев: 1) яркая, высокоамплитудная субгоризонтальная граница от раздела сред лед-вода; 2) наличие серии кратных волн, сформированных яркой границей лед-вода; 3) дифрагированные волны на точках георадарного разреза, отвечающих тройному сочленению лед-вода-горные породы. Методика показала себя крайне эффективной, позволяющей в полевых условиях при первичном анализе временных разрезов определить границы озера. Особенно такой подход актуален при картировании водных объектов, перекрытых материковым ледником. Поскольку в таких условиях определить границу озера визуально, по геоморфологическим или ландшафтным признакам не представляется возможным, георадиолокация представляется единственным надежным и экспрессным методом решения поставленной задачи.

По результатам выполненных работ были получены морфометрические характеристики озёр каскада, определены их площади и объёмы водной массы. Построены карты глубин и мощностей льда. Площадь акватории озера Ледяного составляет 149640 м², а объём воды около 800410 м³. Его максимальные глубины зарегистрированы вблизи ледника и достигают 15.5 м. Площадь озера Южного составила 8120 м², а объём воды около 5100 м³. На момент выполнения работ мощность водного слоя не превышала 2 м. Полученные данные легли в основу расчётов для моделирования сценариев прорывов указанных озёр через снежно-ледовые перемычки.

Георадиолокационные разрезы так же информативны при изучении строения снежно-ледовых перемычек. Их анализ позволяет выявить особенности их внутреннего строения, закартировать рельеф подстилающего скального основания, а также установить положение палеоканалов и гротов, выработанных потоками воды в толще льда. Интересной особенностью полученных радарограмм является наличие над осью канала снежного трога – вогнутой складки, представленной слоями фирна. Её наличие свидетельствует о возможных периодических обвалах кровли гротов в сезоны особо интенсивного таяния. Следует отметить, что похожие структуры уже наблюдались на георадарных разрезах, полученных на перемычках, преграждающих озёра Прогресс и Дискашн в оазисе Холмы Ларсеманн (Земля Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида) [10]. Там же наблюдались и обрушения кровли гротов в ходе прорыва озёр с последующим формированием каньона и заполнением его снегом в последующие, менее теплые сезоны.

Таким образом, в работе показаны возможности георадиолокации для экспрессного выявления и оконтуривания внутриледниковых и приледниковых озёр, получения их морфометрических характеристик, а также изучения геоморфологических особенностей прилегающих территорий. Анализ радарограмм совместно с натурными наблюдениями позволяет восстановить историю возникновения и развития внутриледниковых каналов, рассмотреть возможные сценарии прорывных паводков и их последствий.

Литература

1. Боронина А.С. Крупные прорывы озёр антарктических оазисов: обобщение современных знаний // Лёд и снег. 2022. Т. 62. № 1. С. 141–160.
2. Boronina A., Popov S., Pryakhina G., Chetverova A., Ryzhova E., Grigoreva S. Formation of a large ice depression on Dalk Glacier (Larsemann Hills, East Antarctica) caused by the rapid drainage of an englacial cavity // Journal of Glaciology. 2021. V. 67. No. 266. P. 1121–1136.
3. Попов С.В., Боронина А.С., Пряхина Г.В., Григорьева С.Д., Суханова А.А., Тюрин С.В. Прорывы ледниковых и подледниковых озёр в районе Холмов Ларсеманн (Восточная Антарктида) в 2017– 2018 гг. // Геориск. 2018. Т. XII. № 3. С. 56–67.
4. Попов С.В., Кашкевич М.П., Боронина А.С. Комплексные инженерные изыскания в оазисе Ширмахера (Земля Королевы Мод, Восточная Антарктида) в сезон 67-й РАЭ // Российские полярные исследования. 2022. Т. 47. № 1. С. 12–16.
5. Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. М.: Научный мир, 2006. 392 с.
6. 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.
7. Попов С.В. Шесть десятилетий радиолокационных и сейсмических исследований в Антарктиде // Лёд и снег. 2021. Т. 61. № 4. С. 587–619.
8. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М.: Изд-во МГУ, 2004. - 153 с.
9. Grigoreva S.D., Kuznetsova M.R., Kiniabaeva E.R. New data on Progress Lake (Larsemann Hills, East Antarctica): Recently discovered subglacial part of the basin // Polar Science. Special Issue: "Research Advances from Larsemann Hills, Antarctica: International Cooperation and Future Prospects" 8 pp. (In press), <https://doi.org/10.1016/j.polar.2023.100925>.
10. Григорьева С.Д., Киньябаева Э.Р., Кузнецова М.Р., Попов С.В., Кашкевич М.П. Строение снежно-ледовых перемычек прорывных озёр полуострова Брокнес (оазис Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) по данным георадиолокации // Лёд и снег. 2021. Т. 61. № 2. С. 291–300.