

СБОРНИК ТЕЗИСОВ



29 сентября – 01 октября 2021 г.

Москва
2022

УДК 550.8
ББК 26.34
С23

C23 Сборник тезисов научно-практической конференций «Георадар 2021» / под редакцией кандидата физико-математических наук М.С. Судаковой, кандидата технических наук М.Р. Садруртдинова. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2022. – 170 с.

ISBN 978-5-91327-722-0

В сборнике представлены тезисы докладов пятой юбилейной научно-практической конференции «Георадар-2021». Конференция проходила 29 сентября – 01 октября 2021 г. в смешанной онлайн-оффлайн формате. В рамках конференции поднят широкий круг вопросов методов георадиолокации и аппаратурной базы. Проведены шесть мастер-классов, два круглых стола, посвященных вопросам георадиолокационного оборудования и применения метода георадиолокации при решении инженерно-геологических задач. Особенностью конференции является полевая демонстрация аппаратуры ведущих производителей геофизического оборудования. В работе конференции принимают участие представители производственных и научных организаций России и Западной Европы.

Сетевое научное издание

Под редакцией кандидата физико-математических наук М.С. Судаковой,
кандидата технических наук М.Р. Садруртдинова



ISBN 978-5-91327-722-0

© Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 2022
© ИД «Академия Естествознания»
© АНО «Академия Естествознания»



ТОЛЩИНА ЛЬДА И СНЕЖНОГО ПОКРОВА ЛЕДНИКА ИГАН (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

Лаврентьев И.И.¹, Носенко Г.А.¹, Шеин А.Н.², Иванов М.Н.³, Камнев Я.К.²

¹*Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Россия,
e-mail: lavrentiev@igras.ru*

²*ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард, Россия,
e-mail: a.n.shein@yandex.ru*

³*МГУ им. М.В. Ломоносова, Географический ф-т, г. Москва, Россия,
e-mail: misha_scout@mail.ru*

Реферат

Приводятся результаты радиолокационных исследований ледника ИГАН, выполненных в 2019 и 2021 гг. Измерения толщины снежного покрова и льда проводились с помощью георадаров ПИКОР-ЛЁД (1600 МГц), и ВИРЛ-7 (20 МГц), соответственно. Исследования выявили значительное снегонакопление на леднике в зимний период и его устойчивое пространственное распределение, а также показали значительную толщину льда (до 106 м) и политермическую структуру ледника.

Ключевые слова: радиолокационное зондирование, ледник, толщина снега, толщина льда, Полярный Урал.

THICKNESS OF ICE AND SNOW ON IGAN GLACIER (POLAR URALS) FROM GROUND BASED RADIO-ECHO SOUNDING DATA

Lavrentiev I.I.¹, Nosenko G.A.¹, Shein A.N.², Ivanov M.N.³, Kamnev Ya.K.²

¹*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia, e-mail: lavrentiev@igras.ru*

²*«Scientific Center for the Study of the Arctic», Salekhard, Russia,
e-mail: a.n.shein@yandex.ru*

³*Lomonosov Moscow State University, Geography dept., Moscow, Russia,
e-mail: misha_scout@mail.ru*

Abstract

The results of radar studies of the IGAN glacier carried out in 2019 and 2021 are presented. Measurements of the thickness of the snow cover and ice were carried out using the PICOR-LED GPR (1600 MHz) and VIRL-7 (20 MHz), respectively. Studies have revealed significant winter snow accumulation on the glacier and its stable spatial distribution, and also showed a significant ice thickness (up to 106 m) and the polythermal structure of the glacier.

Keywords: radio-echo sounding, glacier, snow thickness, ice thickness, Polar Urals.

Введение

Мониторинг ледников во всём мире сосредоточен в основном на средних и крупных ледниках, а понимание процессов, происходящих с малыми ледниками, остаётся неполным. Исследования ледников Полярного Урала, начатые в середине XX века, дополняют общую картину: они имеют самый длинный ряд наблюдений среди ледников горных районов материковой части России, расположенных в полярных широтах. К Полярному Уралу относится самая северная часть Уральского хребта, современное оледенение которого представлено снежно-ледовыми образованиями площадью до 1 км². Располагаясь ниже климатической снеговой границы, ледники существуют благодаря низким температурам воздуха и высокой концентрации снега в каютах и на уступах подветренных склонов в результате метелевого и лавинного переноса снега. Они образуют отдельные очаги оледенения, приуроченные к наиболее возвышенным и расчленённым участкам хребта.

История исследований

Первые сведения о ледниках этого района были получены А.Н. Алешковым во время II Международного полярного года (МПГ) (1932-1933 гг.), а наиболее интенсивные исследования проводились в периоды Международного геофизического года (МГГ) (1958-1959 гг.) и международного гидрологического десятилетия (МГД) (1965-1974 гг.) на базе двух созданных гляциологических стационаров – на оз. Большая Хадата и у языка ледника Обручева. В 1958-1981 гг. Институт географии РАН выполнял масс-балансовые исследования и фотогеодезический мониторинг трёх ледников Полярного Урала – Обручева, ИГАН и МГУ [Троицкий и др., 1966; Цветков, 1970; Волошина, 1988]. В 1968 и 1976 гг. на ледниках ИГАН и Обручева, соответственно, были выполнены первые измерения толщины льда с помощью радиовысотомера РВ-10 (440 МГц), оборудование было размещено на вездеходе [Мачерет, 2006]. В начале 2000-х гг., после значительного перерыва, исследования ледников Полярного Урала, и, в частности, ледника ИГАН были продолжены. В 2008 и 2018 гг. были выполнены повторные геодезические измерения высоты поверхности ледника с помощью дифференциальных GPS-приёмников. На основе полученных данных были оценены изменения ледника (площади, высоты поверхности и баланса массы) за период инструментальных исследований [Shahgedanova et al., 2017; Носенко и др., 2020]. В 2019 г. впервые на леднике была сделана высокочастотная радиолокационная съёмка толщины снежного покрова, результаты которой также приводятся в настоящей работе.

Данные и методы

В весенний период 2021 г. «Научным центром изучения Арктики» (г. Салехард) совместно с Институтом географии РАН и Географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова была проведена гляциологическая экспеди-

ция на крупнейший ледник Полярного Урала – ИГАН. Целью исследований было измерение аккумуляции снега, необходимой для последующей оценки баланса массы ледника, и толщины ледника. Для измерений толщины снежного покрова использовался высокочастотный (1600 МГц) радиолокатор «Пикор-Лёд», совмещённый антенный блок которого, закреплённый на пластиковых санях-волокушах, перемещался по поверхности ледника оператором на лыжах. Было получено около 5,6 километров снегомерных профилей (в 2019 г. – около 4 км) (рис.2). Для измерений толщины льда применялся радиолокатор ВИРЛ-7 (20 МГц), компоненты которого (приёмник, передатчик, блок управления, GPS и источники питания) были зафиксированы на 2-х санях-волокушах. Вся конструкция перемещалась по доступной площади ледника оператором на лыжах по сети продольных и поперечных профилей (Рис.3). Визуализация и обработка радарных данных производилась в программе RadexPro Plus 2011.1. Граф обработки состоял из стандартных процедур: удаление задержки, удаление звона антенны (вычитание среднего), полосовая фильтрация и амплитудная коррекция за сферическое расхождение, а также Stolt-FK миграция для коррекции радарных записей с применением Фурье-анализа, позволяющего уточнить толщину льда и геометрию ложа за счёт коррекции глубины и положения боковых отражений. Примеры радарограмм, полученных на леднике обоими локаторами, приведены на рис.1.

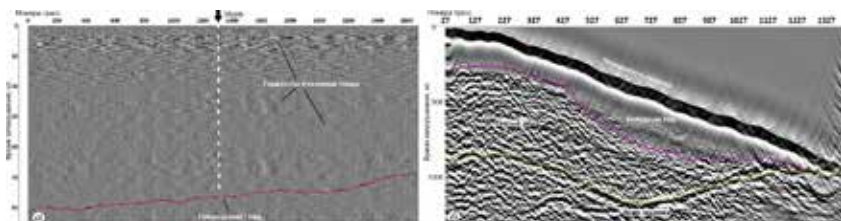


Рис. 1. Радарограммы, полученные на частоте 1600 МГц (а) и 20 МГц (б) на профиле вдоль центральной оси ледника

Результаты

Результаты обработки данных радарной снегомерной съёмки показали постепенное увеличение толщины снега от языка ледника к тыловой стенке кара, где её величина достигала 7 м и более. Такое распределение снега соответствует условиям лавинного питания данного ледника и преобладающего северо-западного метелевого переноса (рис. 2). Измерения в контрольных шурфах на пересечении продольного и поперечного профилей подтвердили результаты радиолокации с точностью 0,1 м.

Измерения толщины льда низкочастотным локатором показали, что она достигает 106 м, а в среднем составляет 47 м. Анализ полученных радарограмм (рис. 3 б) показал, что ледник ИГАН имеет политермическую струк-

туру скандинавского типа. Верхний холодный слой льда имеет среднюю толщину 12 м (максимальные значения достигают 44 м), а толщина тёплого нижнего слоя льда достигает 106 м (средняя величина 36 м).

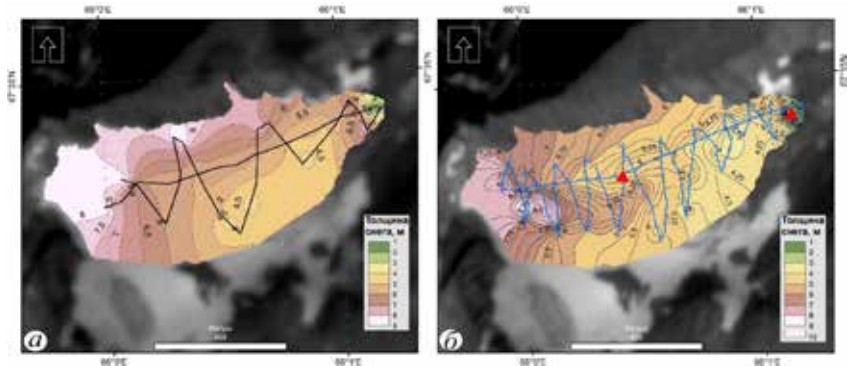


Рис. 2. Профили радиозондирования и карты толщины снежного покрова (аккумуляции) и на леднике ИГАН в 2019 г. (а) и 2021 г. (б)

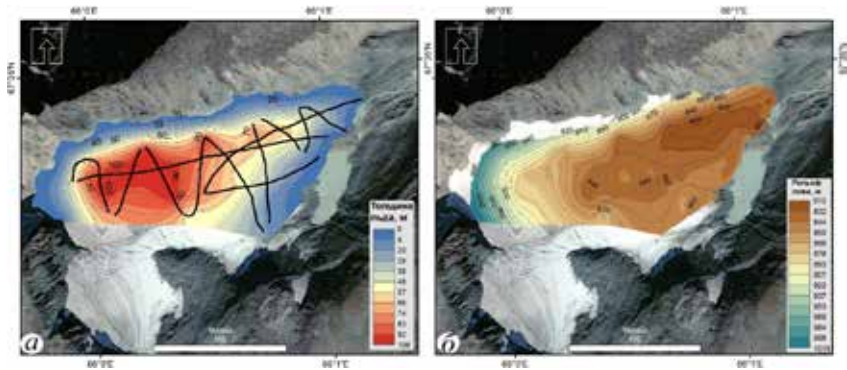


Рис. 3. Профили радиозондирования и карты толщины льда (а) и рельефа ложа (б) ледника ИГАН в 2021 г.

Объём льда, заключённого в леднике (в его исследованной, самой толстой части) составляет 14,3 млн м³, из них 10,46 млн м³ приходится на тёплый лёд и 3,53 млн м³ – на холодный лёд. Сравнение с результатами предыдущих радиолокационных исследований показали, что ледник по-прежнему имеет политермическую структуру, но толщина верхнего холодного слоя заметно уменьшилась, как и общая толщина льда (~30%).

Оценка снегонакопления в зимние сезоны 2018-2019 и 2020-2021 показывает, что аккумуляция на леднике ИГАН находится на среднем многолетнем уровне значений, что позволяет леднику существовать в условиях современных климатических изменений (увеличение температуры и сокращение осадков).

Благодарности

Полевые работы были выполнены при финансовой поддержке НП «Центр освоения Арктики» совместно с ГКУ ЯНАО «Научный Центр изучения Арктики» (г. Салехард) в рамках НИР «Мониторинг криолитозоны и создание системы геотехнического мониторинга в Ямало-Ненецком автономном округе в 2021 году» и в рамках Государственного задания № 0148-2019-0004 исследовательского плана Института географии РАН.

Литература

- Волошина А.П. Некоторые итоги исследований баланса массы ледников Полярного Урала // МГИ. 1988. Вып. 61. С. 44–51.
- Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. М.: Научный Мир, 2006. 389 с.
- Носенко Г.А., Муравьев А.Я., Иванов М.Н., Синицкий А.И., Кобелев В.О., Никитин С.А. Реакция ледников Полярного Урала на современные изменения климата // Лёд и Снег. 2020. № 60 (1). С. 42-57.
- Троицкий Л.С., Хоذاков В.Г., Михалев В.И., Гуськов А.С., Лебедева И.М., Адаменко В.Н., Живкович Л.А. Оледенение Урала. М.: Наука, 1966. 355 с.
- Цветков Д.Г. 10 лет фотогеодезических работ на ледниках Полярного Урала (Опыт наземной съемки и составления планов малых ледников с приложением топокарт ледников ИГАН и Обручева в масштабе 1:5000) // МГИ. 1970. Вып. 16. С. 245–257.
- Shahgedanova M., Nosenko G., Bushueva I., Ivanov M. Changes in area and geodetic mass balance of small glaciers, Polar Urals, Russia 1950–2008 // Journ. Of Glaciology. 2017. V. 58. № 211. P. 953–964. doi:10.3189/2012JoG11J233.