

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2022. № 4. (117). С. 94-106.
Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2022. № 4. (117). P. 94-106.

ГЕОФИЗИКА И ГЛЯЦИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 330.324, 536.5

doi: 10.26110/ARCTIC.2022.117.4.005

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЛЩИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ЛЕДНИКА ИГАН ВО ВРЕМЯ ПЕРИОДА АБЛЯЦИИ 2022 ГОДА

*Александр Николаевич Шеин¹, Михаил Николаевич
Иванов², Ника Александровна Гинзбург³, Алла Сергеевна
Турчанинова⁴, Сергей Анатольевич Кураков⁵*

¹Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

^{2,3,4}Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

⁵Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

¹*A.N.Shein@yandex.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-6520-0551>

²*misha_scout@mail.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-7375-8571>

³*gin-nika@yandex.ru*, <https://istina.msu.ru/profile/NikaGinzburg/>

⁴*alla_wave87@mail.ru*, <https://istina.msu.ru/profile/AllaTurchaninova/>

⁵*sergeykurakov@gmail.com*, <https://orcid.org/0000-0002-4878-0021>

Аннотация. В апреле 2022 г. были пробурены 3 скважины в снежном покрове и установлено термометрическое оборудование. В августе 2022 г. оборудование демонтировано и получены данные, необходимые для расчёта баланса массы ледника. Опробованная методика сбора температурных данных позволяет с хорошей детальностью описать процесс таяния снежного покрова ледника: зафиксировать изменение температуры во всей толще снега, вычислить скорости таяния в разные моменты времени. Эта информация может быть использована для детального

описания жизненного цикла и расчёта баланса массы ледника.

Ключевые слова: термометрия, Полярный Урал, ледник.

Цитирование: А.Н. Шеин, М.Н. Иванов, Н.А. Гинзбург, А.С. Турчанинова, С.А. Кураков. Предварительные результаты температурных измерений толщи снежного покрова ледника ИГАН во время периода абляции 2022 г. // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2022. (117). № 4. С. 94-106. Doi: 10.26110/ARCTIC.2022.117.4.005.

Original article

PRELIMINARY RESULTS OF TEMPERATURE MEASUREMENTS OF THE SNOW COVER OF THE IGAN GLACIER DURING THE ABLATION PERIOD OF 2022

*Alexandr N. Shein¹, Mikhail N. Ivanov², Nika A. Ginzburg³,
Alla S. Turchaninova⁴, Sergei A. Kurakov⁵*

¹Arctic Research Center, Salekhard, Russia

^{2,3,4}Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁵Institute for Monitoring of Climate and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

¹A.N.Shein@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6520-0551>

²misha_scout@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7375-8571>

³gin-nika@yandex.ru, <https://istina.msu.ru/profile/NikaGinzburg/>

⁴alla_wave87@mail.ru, <https://istina.msu.ru/profile/AllaTurchaninova/>

⁵sergeykurakov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4878-0021>

Abstract. In April 2022, 3 wells were drilled in the snow cover and thermometric equipment was installed. In August 2022, the equipment was de installed and the data necessary for calculating the glacier mass balance was obtained. The tested method of collecting temperature data allows us to describe the process of melting of the glacier's snow cover in good detail: to record the temperature change in the entire thickness of the snow, to calculate the melting rates at different points in time. This information can be used for a detailed description of the life cycle and calculation of the glacier mass balance.

Keywords: thermometry, Polar Urals, glacier.

Citation: A.N. Shein, M.N. Ivanov, N.A. Ginzburg, A.S. Turchaninova, S.A. Kurakov Preliminary results of temperature measurements of the snow cover of the IGAN glacier during the ablation period of 2022 // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2022. (117). № 4. P. 94-106. Doi: 10.26110/ARCTIC.2022.117.4.005 .

Введение

В 1940-70-х годах изучением ледников Полярного Урала, включая приледниковые морены, занимались исследователи из ВНИГИ [1], Института географии РАН [2, 3, 4]. До 1956 г. на Урале было выявлено более 50 ледников. Ввиду отсутствия стационарных наблюдений процессы, формирующие уральские ледники и их режим, оставались не изучены [5]. Наиболее подробные исследования проводились в период Международного геофизического года (МГГ) и Гидрологического десятилетия (1965-1974). В 1959–1964 гг. выявлены и описаны новые ледники северных районов Урала. Эту работу при помощи материалов аэрофотосъемок и наземных обследований проводили Л.Д. Долгушин (1960), А.О. Кеммерих (1960) и Л.С. Троицкий (1963). К 1964 г. на Урале насчитывалось 143 ледника, а обобщенные сведения всех лет исследований об оледенении вошли в Каталог ледников СССР (1966) и монографию Оледенение Урала (1966). С 1981 г. систематические наблюдения за ледниками прекратились, краткие наблюдения проводились в экспедициях ИГ РАН и МГУ в 1999, 2008-2010, 2012, 2017 гг. С 2017 г. НЦИА и МГУ проводят новые исследования на ледниках в районе Хадатинских озёр, в том числе на леднике ИГАН [6].

Ледник ИГАН находится на Полярном Урале и расположен на восточном склоне горы Хар-Наурды-Кеу на высоте 1246 м, в районе озёра Большая Хадата-Юган-Лор на территории Государственного биологического (ботанического и зоологического) заказника регионального (окружного) значения «Горнохадатинский» Приуральского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Он был открыт в 1953 г. Л.Д. Долгушиным. Изучением ледника ИГАН занимались в 1960-1970 гг. [3, 8]. По результатам проведённых исследований, ледники ИГАН и Обручева на Полярном Урале являлись эталонами изученности в СССР и даже мире. В 2007- 2012 гг. Ивановым М.Н. проведены полевые исследования на ледниках ИГАН и Обручева и получены новые сведения о их состоянии и эволюции [8]. Все эти исследования касались самого ледника ИГАН, но строение приледниковых территорий оставалось слабо изученным. Последние геофизические исследования на Полярном Урале проводились в 60-х годах прошло-

го века методами электро- и сейсморазведки по технологиям тех лет [9].

Интерес к ледникам связан с несколькими причинами. Прежде всего мониторинг состояния ледников, как индикаторов, необходим для решения фундаментальных задач изучения климатических изменений. Помимо этого, таяние и сокращение ледников приводит к активизации ряда опасных процессов, таких как гляциальные паводки, селевые потоки, снежные лавины. Некоторые из этих задач можно решить, используя материалы дистанционного зондирования Земли. Однако результаты исследований малых ледников Урала в силу их малых размеров показали необходимость постоянного наземного мониторинга оледенения. В апреле 2022 г. были пробурены 3 скважины в снежном покрове ледника ИГАН и установлено термометрическое оборудование. В августе 2022 г. оборудование демонтировано и получены данные, необходимые для уточнения расчёта баланса массы ледника.

Методика исследования

В апреле 2022 г. нами в снежном покрове на леднике пробурены скважины глубиной от 2,4 до 4,4 м и оборудованы термометрическими датчиками для определения динамики таяния снежного покрова в период абляции. Установлены автоматические регистраторы таяния снега Куракова «САМ-ТЛ-7» [10] (рис. 1), содержащие термокосу длиной 7,2 м из датчиков температуры, расположенных на регулярном друг от друга расстоянии равном 40 см, которые последовательно соединены между собой гибким кабелем. Датчики температуры и соединяющие их кабели размещены в защитном корпусе, который выполнен из полимерной оболочки. Верхний конец термокосу подключен к устройству считывания и хранения – логгеру. Технические детали описаны в таблице 1. Установленное оборудование было настроено на период измерения 3 ч.



Рис. 1. Установка и сбор термометрического оборудования на леднике ИГАН

Таблица 1. Характеристики автоматического регистратора таяния ледников Куракова «САМ-ТЛ-7»

Наименование характеристики	Параметры характеристики
Диапазон рабочих температур блока контроллера:	-50... +50°C
Уровни установки датчиков температуры на термокосу	0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 метров.
Диапазон измерения температуры	не уже от -55 до +50°C
Погрешность калибровки датчиков измерения температуры	не более $\pm 0,1$ °C
Разрешающая способность измерения температуры	не более 0,07 °C
Максимальный диаметр термокосы	не более 16 мм
Контроллер должен помещаться в трубу с внутренним диаметром 100 мм и высотой 400 мм	Наличие
Количество, одновременно подключаемых к контроллеру датчиков температуры, аналогичным установленным в поставляемой термокосу:	не менее 100 шт.
Устанавливаемый период измерения:	от 1 минуты до 720 минут;
Объём энергонезависимой памяти	4 Мбайт (не менее 15 000 измерений)
Интерфейс передачи данных	GSM, SD-карта, USB
Время автономной работы от штатного комплекта элементов питания, при периоде измерения не менее 3 часа	не менее 5 лет
Степень защиты контроллера от внешних воздействий	IP 67
Степень защиты термокосы от проникновения твёрдых предметов и воды	IP 68

Схема расположения термоскважин приведена на рисунке 2: скважина Т340 глубиной 4,4 м расположена в верхней части ледника, Т348 глубиной 3 м – в средней части, Т349 глубиной 2,4 м – в нижней части.

Установленное оборудование вместе с полученными данными снято во время летней экспедиции в августе 2022 г. Проведён предварительный анализ данных, который позволяет описать динамику таяния снежного покрова во время летнего периода.

Результаты термометрических измерений снежного покрова

Прежде всего стоит отметить, что ввиду того, что глубина скважин была меньше длины косы (7,2 м), на поверхности ледника (снега) с середины мая находилась часть датчиков, что позволило нам с хорошей точ-

ностью зафиксировать температуру на поверхности на протяжении всего периода измерения (рис. 3). Можно заметить, что температура изменяется в узких пределах между нулём и 10°C.

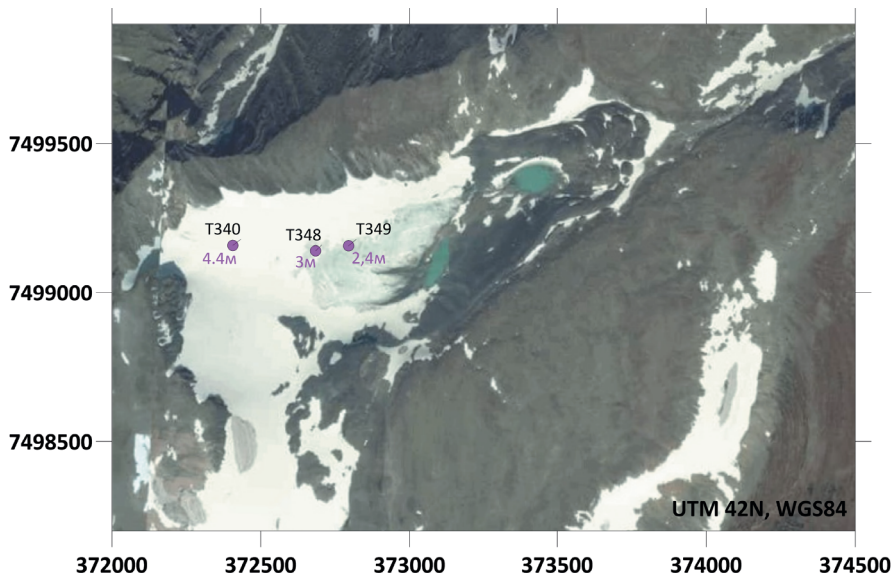


Рис. 2. Расположение термометрических скважин (розовые круги), устроенных на леднике ИГАН

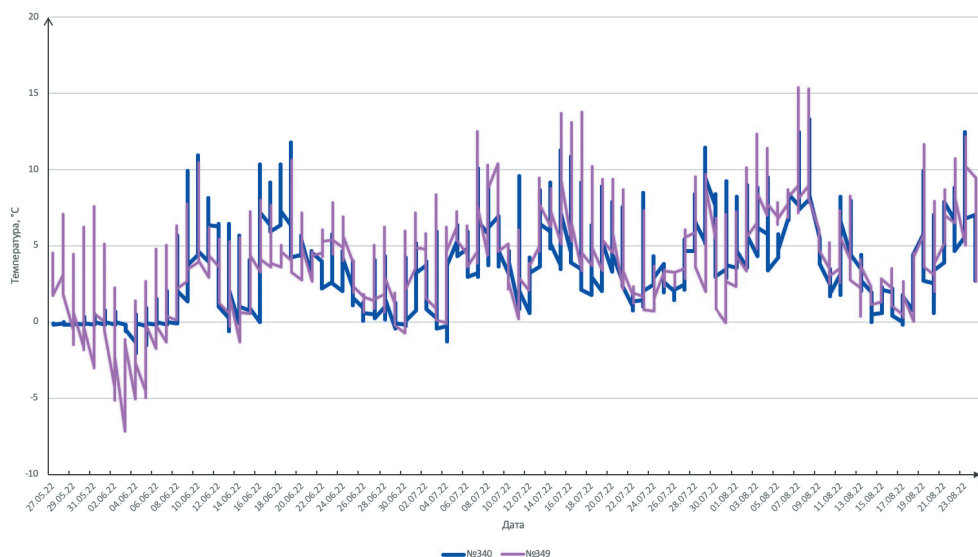
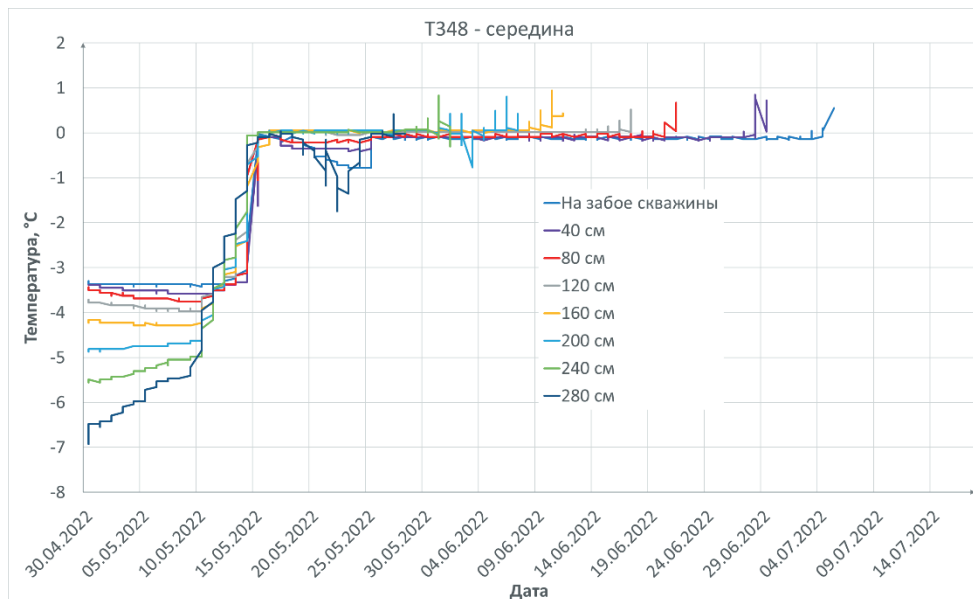
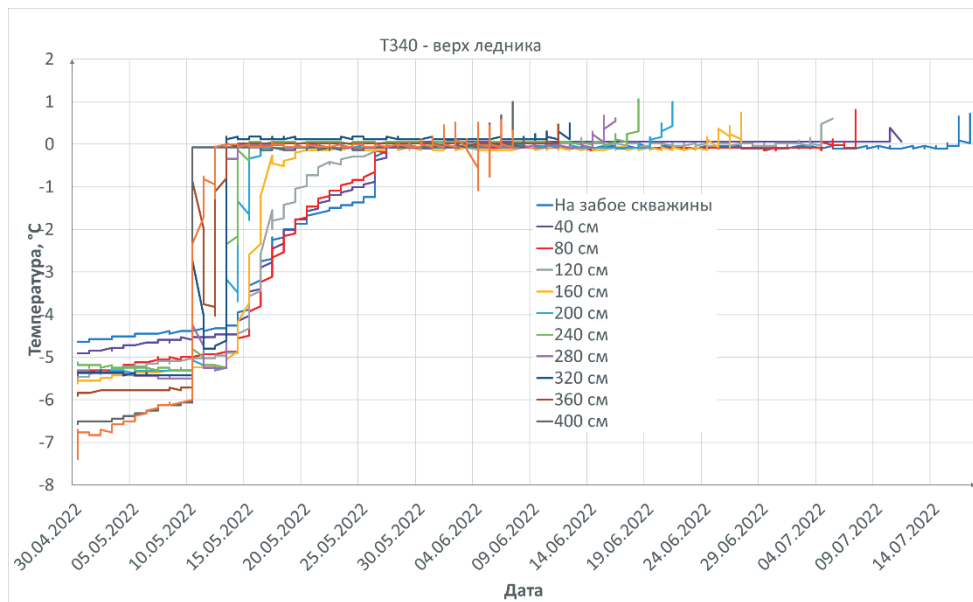


Рис. 3. Температуры на поверхности летом 2022 г.

Температурные данные за период изменений температуры до положительных значений, до момента вытаивания нижнего датчика представлены на рисунке 4, где можно отметить несколько моментов:



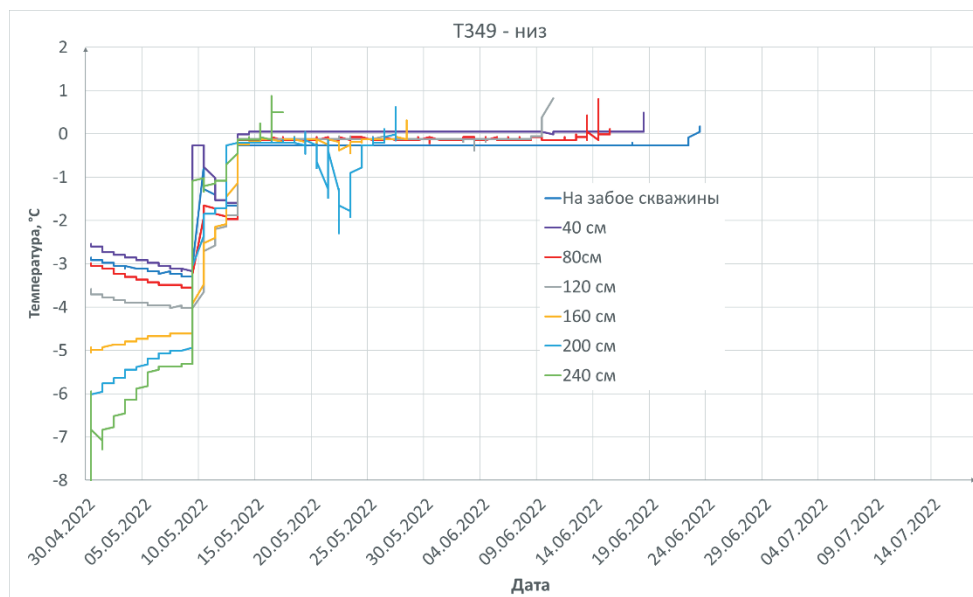


Рис. 4. Изменение температуры в снежном покрове по горизонтам до перехода к положительным значениям (момента вытаивания датчика)

- до 9 мая в нижней скважине и до 10 мая в верхней и средней скважинах температура снежного покрова изменялась незначительно, что свидетельствует о продолжении или окончании аккумуляции;
- с 9-10 мая по 13 мая в нижней точке, по 15 мая в средней и по 26 мая в верхней точке происходит активное пропитывание снежной массы водой, при этом температура повышается с меняющейся скоростью до 0°C;
- после 26 мая можно чётко проследить даты выхода датчиков на поверхность по переходу в положительную зону температур, что позволяет определить динамику таяния снежного покрова;
- таяние логично идёт снизу вверх начиная с 16 мая на нижней косе Т349, а последний датчик на верхней косе Т340 оттаивает 14 июля;
- зная расстояние между датчиками и момент вытаивания датчика (переход температуры в положительную зону), можно рассчитать скорость таяния снежного покрова.

Если рассмотреть температуру по глубине в разные моменты времени (рис. 5), то можно увидеть динамику пропитывания снежной толщи талыми водами. В верхней точке ледника 05 мая 2022 г. (рис. 5, коса 340) можно увидеть температуру снежного покрова до начала таяния. 12 мая началась пропитка – до глубины 360 см температура приблизилась к нулевым значениям. 20 мая вода достигла глубины 1,5 м. В нижней точке ледника можно наблюдать более динамичную картину: к 12 мая поменялась

температура всей толщи, а к 15 мая водой пропитались все 2,5 м. Таким образом, нижняя часть ледника предсказуемо более динамична и процесс таяния происходит быстрее, чем сверху.

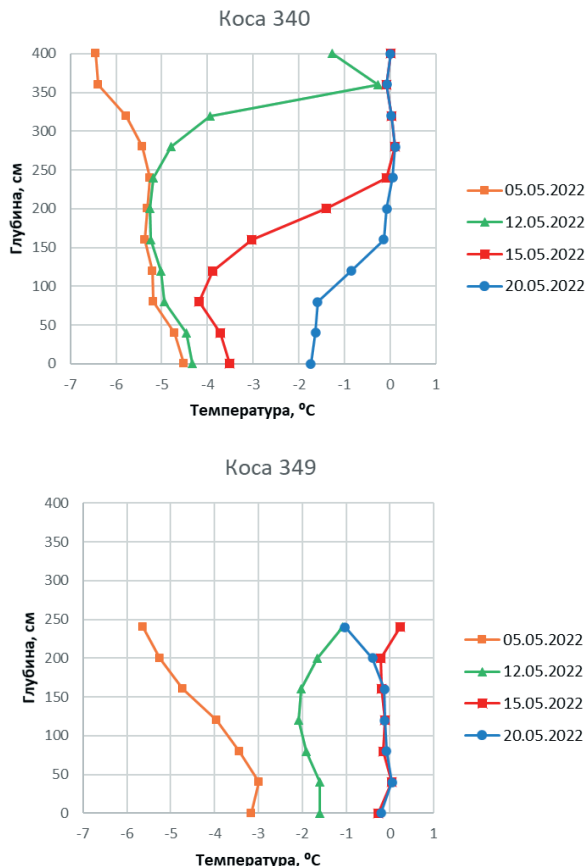


Рис. 5. Температура снежного покрова ледника ИГАН в разные моменты времени

Заключение

В 2022 г. опробована методика температурных измерений толщи снежного покрова ледника ИГАН во время периода абляции 2022 г. Установка термометрического оборудования позволяет с хорошей детальностью описать процесс таяния снежного покрова на леднике: зафиксировать изменение температуры во всей толще снега, вычислить скорости таяния в разные моменты времени. Эта информация может быть использована для детального описания жизненного цикла ледника и расчёта баланса массы ледника.

Работа финансово поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (соглашение № 14.607.21.0205, уникальный идентификатор RFMEFI60718X0205).

Список источников

1. Полярный Урал и его взаимоотношения с другими складчатыми областями / А. В. Хабаков. – Москва; Ленинград: Изд-во Главсевморпути, 1945. – 77 с., 2 л. карт.: ил.; 25 см. – (Труды Горно-геологического управления/ Глав. упр. Сев. мор. пути при СНК СССР; Вып. 15).
2. Долгушин Л.Д. Ледники Урала и некоторые особенности их эволюции. // Вопросы физической географии Урала. М.: МОИП, 1960, с. 33-60.
3. Троицкий Л.С. О современной динамике ледников Полярного Урала. / Гляциологические исследования № 9. – М.: АН СССР, 1963, с. 94-102.
4. Троицкий Л.С., Ходаков В.Г., Михалев В.И., Гуськов А.С., Лебедева И.М., Адаменко В.Н., Живкович Л.А. Оледенение Урала – М.: Наука, 1966, 307 с.
5. Каталог ледников СССР. Том 3. Северный Край. Ч. 3 Урал. / Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 52 с.
6. Камнев Я.К. Геоэлектрическое строение разреза у ледника Иган / Я.К. Камнев, Д.С. Панькова, В.В. Оленченко // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 124-128. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-2-2-124-128.
7. Иванов М.Н. Эволюция оледенения Полярного Урала в позднем голоцене. – М.: Географический факультет МГУ, 2013. – 200 с.
8. Сурова Т.Г., Троицкий Л.С. Пуннинг Я.М. Палеогеография и абсолютная хронология голоцена Полярного Урала. // Известия АН ЭССР. Серия Химия, Геология. – 1975. – Т. 24. – № 2. – С. 152-159.
9. Боровинский Б.А. Электро- и сейсмические исследования многолетнемерзлых горных пород и ледников. – М.: Наука, 1969. – 184 с.
10. Патент № 2606346 С1 Российская Федерация, МПК E21B 47/07, G01K 13/00, G01W 1/00. Автоматический регистратор таяния ледников Куракова: № 2015154925: заявл. 21.12.2015: опубл. 10.01.2017 / С.А. Кураков, П.С. Куракова, О.А. Куракова; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН).

References

1. The Polar Urals and its relations with other folded areas / A.V. Khabakov. - Moscow; Leningrad: Publishing House of Glavsevmorput, 1945. - 77 p.,

- Proceedings of Mining and Geological Administration / Chief Directorate of the Northern Sea Route under the Council of People's Commissars of the USSR; Issue 15.
2. Dolgushin L.D. Glaciers of the Urals and some features of their evolution. // Matters of the physical geography of the Urals. Moscow: MOIP, 1960, pp. 33-60.
 3. Troitsky L.S. Modern dynamics of glaciers of the Polar Urals. / Glaciological Studies No. 9. - Moscow: USSR Academy of Sciences, 1963, pp. 94-102.
 4. Troitsky L.S., Khodakov V.G., Mikhalev V.I., Guskov A.S., Lebedeva I.M., Adamenko V.N., Zhivkovich L.A. Glaciation of the Urals - Moscow: Nauka, 1966, 307 p.
 5. Catalogue of glaciers of USSR. Vol. 03. Northern Krai. Part 3 - Ural. / Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966. - 52 p.
 6. Kamnev Y.K. Geoelectric structure of the section near Egan glacier / Y.K. Kamnev, D.S. Pankova, V.V. Olenchenko // Interexpo Geo-Siberia. - 2019. - Vol. 2. - № 2. - pp. 124-128. - DOI 10.33764/2618-981X-2019-2-2-124-128.
 7. Ivanov M.N. Evolution of glaciation in the Polar Urals in the Late Holocene. - Moscow: Faculty of Geography, Moscow State University, 2013. - 200 p.
 8. Surova T.G., Troitsky L.S. Punning Y.M. Paleogeography and absolute Holocene chronology of the Polar Urals. // Izvestiya AS ESSR. Chemistry, Geology Series. - 1975. - Vol.24. - № 2. - pp. 152-159.
 9. Borovinsky B.A. Electro- and seismic studies of permafrost rocks and glaciers. - Moscow: Nauka, 1969. - 184 p.
 10. Patent No. 2606346 C1 Russian Federation, IPC E21B 47/07, G01K 13/00, G01W 1/00. Automatic recorder of glacier melting Kurakova: No. 2015154925; application 21.12.2015; publ. 10.01.2017 / S. A. Kurakov, P. S. Kurakova, O. A. Kurakova; applicant Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IMCES SB RAS).

Сведения об авторах

Шейн Александр Николаевич, 1981 г.р., закончил механико-математический факультет НГУ, в 2010 г. защитил кандидатскую диссертацию. ГАУ ЯНАО «Научный центр Изучения Арктики» (Салехард, Россия), ведущий научный сотрудник сектора криосферы, к.ф.-м.н. Сфера научных интересов: численное моделирование электромагнитных и температурных полей, криолитозона, геотехнический мониторинг, импульсная электроразведка, электротомография, георадиолокация, процессы вызванной поляризации.

Иванов Михаил Николаевич, 1982 г.р., закончил географический факультет МГУ, в 2012 г. защитил кандидатскую диссертацию. МГУ имени

М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, старший научный сотрудник, к.г.н. Сфера научных интересов: исследование колебаний ледников и климата, палеогляциология, эволюция криосферы, катастрофические процессы в криосфере, снежные лавины.

Гинзбург Ника Александровна, 2000 г.р., студентка 2-го курса магистратуры кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Сфера научных интересов: моделирование движения снежных лавин, дистанционное зондирование Земли, применение информационных технологий в географии.

Турчанинова Алла Сергеевна, 1987 г.р., закончила географический факультет МГУ, в 2013 г. защитила кандидатскую диссертацию. К.г.н, н.с. лаборатории снежных лавин и селей и кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Кураков Сергей Анатольевич, 1966 г.р., в 1988 г. закончил Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники, в 2020 г. защитил кандидатскую диссертацию. Научный сотрудник Лаборатории геоинформационных технологий ФГБУН ИМКЭС СО РАН, к.т.н. Сфера научных интересов: автономные измерительные комплексы для контроля природной среды на труднодоступных территориях, станции климатического, метеорологического и экологического мониторинга, БПЛА

Вклад авторов

Шейн А. Н. – организация и проведение полевых работ, обработка и интерпретация данных, написание и редактирование текста;

Иванов М.Н. – концепция исследования, организация и проведение полевых работ, написание и редактирование текста;

Гинзбург Н.А. – полевые работы, обработка данных, редактирование текста;

Турчанинова А.С. – полевые работы, редактирование текста;

Кураков С.А. – разработка аппаратуры.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Information about the authors

Alexandr Nickolaevich Shein, born in 1981, graduated from the Faculty of Mechanics and Mathematics of the Novosibirsk State University, defended his PhD thesis in 2010. Leading researcher of the Cryosphere Sector of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia), Candidate of Physico-Mathematical Sciences. Research interests: numerical modeling of electromagnetic and temperature fields, cryolithozone, geotechnical

monitoring, transient electromagnetics, electrical resistivity tomography, ground penetrating radar, induced polarization.

Mikhail Nickolaevich Ivanov, born in 1982, graduated from the Faculty of Geography at Lomonosov Moscow State University, defended his PhD thesis in 2012. Senior researcher of the Cryolithology and Glaciology department, Faculty of Geography at Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia), Candidate of Geographical Sciences. Research interests: glacier fluctuations and climate change, paleoglaciology, evolution of the cryosphere, catastrophic events in the cryosphere, snow avalanches.

Nika Akexandrovna Ginzburg, born in 2000, a second year Master's student of the Geography faculty at Lomonosov Moscow State University (MSU) (Cryolithology and Glaciology department). Main research interests are computational models of avalanches, remote sensing of snow cover, the application of python programming in geography.

Alla Sergeevna Turchaninova born in 1987, graduated from the Faculty of Geography at Lomonosov Moscow State University, defended his PhD thesis in 2013. Senior researcher the Laboratory of Avalanches and Mudslides and the Department of Cryolithology and Glaciology of the Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University.

Sergey Anatolyevich Kurakov, born in 1966, graduated from the Tomsk Institute of Automated Control Systems and Radioelectronics in 1988, defended his PhD thesis in 2020. Researcher of the Laboratory of Geoinformation Technologies, IMCES SB RAS, Ph.D. Research interests: autonomous measuring systems for monitoring the natural environment in hard-to-reach areas, climatic, meteorological and environmental monitoring stations, UAVs.

Authors Contribution

Shein A.N. - organization and conduct of fieldwork, data processing and interpretation, text writing and editing;

Ivanov M.N. - research concept, organization and conduct of fieldwork, text writing and editing.

Ginzburg N.A. – fieldwork, data processing, text editing;

Turchaninova A.S. – fieldwork, data processing, text editing;

Kurakov S.A. – equipment development.

All co-authors - approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Статья поступила в редакцию 21.10.2022 г., принята к публикации 28.11.2022 г.

The article was submitted on October 21, 2022, accepted for publication on November 28, 2022.