

ГЕОФИЗИКА И ГЛЯЦИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.324.6

doi: 10.26110/ARCTIC.2024.122.1.004

ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКОВ ИГАН, АНУЧИНА И ФОТОГЕОДЕЗИСТОВ В 2023 Г.

*Александр Николаевич Шейн¹, Михаил Николаевич
Иванов², Геннадий Андреевич Носенко³, Иван Иванович
Лаврентьев⁴*

¹Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

^{3,4}Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

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

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

³gnosenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8760-184X>

⁴ilavrentiev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6902-7186>

Аннотация. В работе представлены результаты исследования ледников ИГАН, Анучина и Фотогеодезистов в 2023 г. Получены данные о характеристиках снежного покрова в пределах поверхности ледника ИГАН. Массив полученных данных радарных снегомерных измерений свидетельствует о практически неизменном количестве зимних осадков на протяжении последних лет. Это позволяет сделать вывод о том, что основной причиной интенсивного сокращения ледников Полярного Урала является солнечная радиация в летний период. В августе 2023 г. нами отмечено, что северная (каровая) и южная (присклоновая) части ледника ИГАН разделились физически на два отдельных ледника. Баланс массы 2022/2023 года был отрицательным. На леднике ИГАН обустроена сеть абляционных реек. Ледники Анучина и Фотогеодезистов

значительно уменьшились в размерах, но продолжают существовать.

Ключевые слова: Полярный Урал, ледник, радиолокационное зондирование, снег.

Цитирование: А.Н. Шеин, М.Н. Иванов, Г.А. Носенко, И.И. Лаврентьев. Исследования ледников ИГАН, Анучина и Фотогодезистов в 2023 г. // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2024. (124). № 1. С. 50-68. doi: 10.26110/ARCTIC.2024.122.1.004.

Original article

STUDIES OF THE IGAN, ANUCHIN AND PHOTOGODESIST GLACIERS IN 2023

Alexandr N. Shein¹, Mikhail N. Ivanov², Gennady A. Nosenko³, Ivan I. Lavrentiev⁴

¹Arctic Research Center, Salekhard, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

^{3,4}Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

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

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

³gnosenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8760-184X>

⁴ilavrentiev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6902-7186>

Abstract. The paper presents the results of a study of the IGAN, Anuchin and Photogeodesist glaciers in 2023. Data on the characteristics of snow cover within the IGAN glacier surface are obtained. The array of data obtained from radar snow measurements indicates an almost constant amount of winter precipitation over the past years. This allows us to conclude that the main reason for the intensive reduction of glaciers in the Polar Urals is solar radiation in the summer. In August 2023 We noted that the northern (loaf) and southern (slope) parts of the IGAN glacier were physically divided into two separate glaciers. The mass balance of 2022/2023 was negative. There is a network of ablation rails on the IGAN glacier. The Anuchin Glacier and the Photos of the surveyors have significantly decreased in size, but they continue to exist.

Keywords: Polar Urals, glacier, radar sensing, snow.

Citation: D. S. A.N. Shein, M.N. Ivanov, G.A. Nosenko, I.I. Lavrentiev Studies of the IGAN, Anuchin and Photogeodesist glaciers in 2023 // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2024. (122). № 1. P. 50–68. doi: 10.26110/ARCTIC.2024.122.1.004.

Введение

Первые ледники на Полярного Урала были обнаружены А.В. Хабаковым в 1938 г. [1], позже Л.Д. Долгушиным в 1953 г. [2, 3]. Ввиду отсутствия стационарных наблюдений, процессы, формирующие уральские ледники и их режим, оставались не изучены [4]. Наиболее подробные исследования проводились в период Международного геофизического года (1957–1959) и Гидрологического десятилетия (1965–1974). Во время снегомерных съемок через весь Уральский хребет по долинам и на плато было изучено распределение снежного покрова для выявления климатических условий существования ледников Урала [3].

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).

В 1960–1970-е годы проведены исследования колебаний ледников, палеогеографических условий и истории развития оледенения в голоцене [5, 7, 8, 9]. В конце 1970-х годов на леднике Обручева реализован масштабный проект – проходка глубоких скважин и тоннелей в леднике для изучения внутренней структуры ледника и течения слоёв [10]. Ледники ИГАН и Обручева на Полярном Урале являлись эталонами изученности в СССР и даже в мире.

С 1981 г. систематические наблюдения за ледниками прекратились. С 2017 г. Научный центр изучения Арктики (г. Салехард), МГУ и ИГ РАН возобновили регулярные исследования на ледниках в районе Хадатинских озёр.

Помимо продолжения исследования на эталонных ледниках, необходимо проводить постоянный наземный мониторинг оледенения, т.к. использование материалов дистанционного зондирования Земли не всегда является достаточным в силу малых размеров ледников и частой облачности.

Кроме научной составляющей, интерес к ледникам обусловлен и другими причинами. Во-первых, таяние и сокращение ледников приводит к активизации ряда опасных процессов, таких как гляциальные паводки, селевые потоки, снежные лавины. Мониторинг оледенения позво-

ляет оценить опасность ситуации и спрогнозировать возможные риски. Второй, и не менее важной, причиной является рекреационная привлекательность ледников и районов их распространения, что обуславливает необходимость разработки безопасных маршрутов.

Объекты исследования

Исследования проходили в среднегорной области, в районе озера Большая Хадата-Юган-Лор на территории Государственного биологического (ботанического и зоологического) заказника регионального (окружного) значения «Горнохадатинский» Приуральского района Ямало-Ненецкого автономного округа (рис. 1). Исследования проводились на ледниках ИГАН, Анучина и Фотогеодезистов.

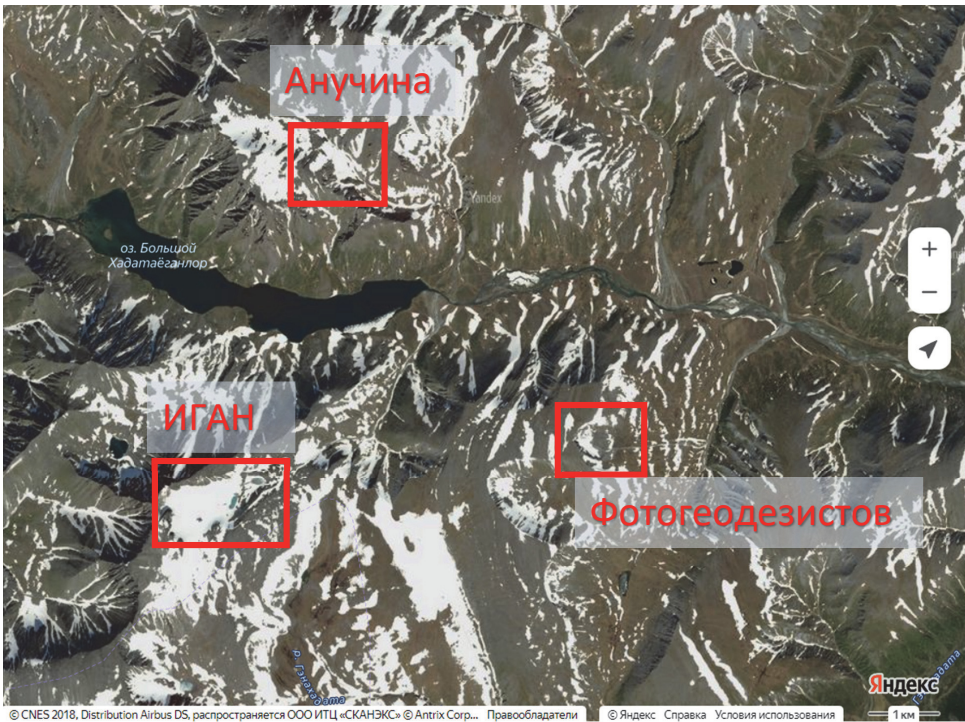


Рис. 1. Карта-схема района исследований. Основа Яндекс.Карты

Основным объектом изучения стал репрезентативный ледник ИГАН (Института географии Академии наук) как наиболее крупный на Урале, на котором в период с 1958 г. по 1981 г. Полярно-Уральской гляциологической экспедицией Института географии РАН проводились ежегодные наблюдения за балансом массы и фотогеодезический мониторинг изменений размеров ледника. Результаты этих исследований опубликованы в

монографии «Оледенение Урала» [3, 5] и могут быть использованы для сравнения. В настоящее время этот ледник все еще остается самым большим на Полярном Урале. Мощность ледниковой толщи по данным радиолокационного зондирования, выполненного в 2021 г., составляет порядка 100 м [12-13]. Уже тогда отмечалась высокая межгодовая изменчивость снеготолщ, обусловленная спецификой нивально-гляциальных форм рельефа и непостоянством синоптических условий в этом регионе.

Ледник ИГАН (рис. 2-3) – наиболее крупный на Урале, расположен на восточном склоне горы Хар-Наурды-Кеу (1246 м). В соответствии с морфологической классификацией это типичный каровый ледник, который при открытии в 1953 г. был описан как карово-долинный с присклоновой частью. Ледник сложный, состоит из двух морфологически разных частей. Северная каровая часть ледника занимает обширный глубокий ассиметричный кар ВСВ экспозиции. Южная часть представляет собой присклоновый ледник, занимающий восточный склон плато Хар-Наурды-Кеу [1, 11].



Рис. 2. Ледник ИГАН (фото Л.Д. Долгушина, 1953 г.)



Рис. 3. Ледник ИГАН с точки съемки Л.Д. Долгушина 1953 г. (фото М.Н. Иванова, 27.08.2023)

С базисного пункта открывается вид на предполье ледника, которое представляет собой воронкообразную западину (рис. 2-3) с озером, обрамленную боковыми, конечными моренами и ригелем, перекрытым моренами (90-е – 2000-е гг.).

Проведены работы на леднике Анучина, находящемся к северу от оз. Б. Хадата на северном склоне горы Анучина (см. рис. 1). В настоящее время по морфологическим признакам ледник относится к присклоновым, хотя в Каталоге ледников (1966) он еще соответствовал каровому типу. Обнаруженный и зарисованный еще в 1938 году А.В. Хабаковым ледник имеет продолжительный ряд наблюдений.

Состояние ледника Фотогеодезистов, который расположен в 4 км восточнее ледника ИГАН (рис. 1), было оценено впервые за несколько десятков лет.

Измерения характеристик снежного покрова ледника ИГАН

Во время весенней экспедиции в апреле 2023 г. измерения толщины снежного покрова по площади ледника проводились с применением георадара «Око-3» на частотах 400 и 900 МГц, антенна которого, закреплённая на пластиковых санях-волокушах, перемещалась по поверхности ледника (рис. 4). Всего было пройдено порядка 5,0 км продольных и поперечных профилей (рис. 5).



Рис. 4. Проведение радиолокационной съемки снежного покрова (фото А. Шеина, 18.04.2023)

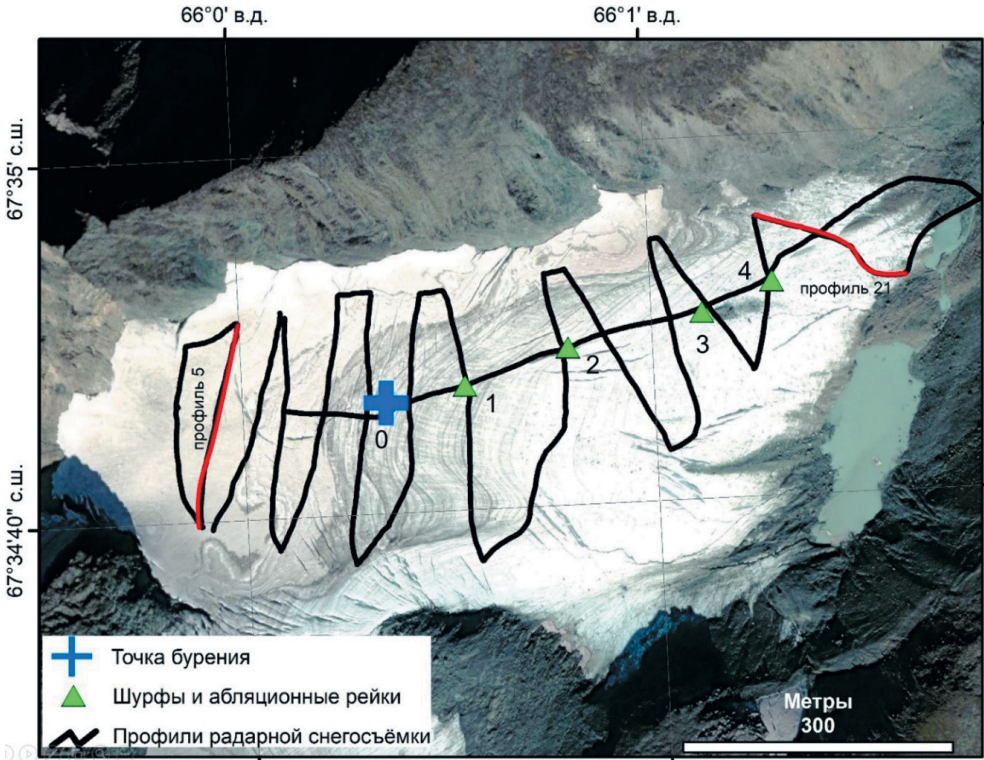


Рис. 5. Маршруты радиолокационной съемки, шурфов и абляционных рек

Таблица 1. Координаты положений скважины и шурфов (WGS84)

№ скважины/шурфа	Широта (N°)	Долгота (E°)	Толщина снега (см)	Глубина забуривания рейки в лед (см)
0	66,004355	67,580597	480	
1	66,006428	67,580728	500	205
2	66,00916	67,58106	500	260
3	66,0127	67,58135	500	
4	66,01456	67,58163	500	250

На рисунке 6 показаны примеры радарограмм, полученных на отдельных участках (рис. 6, красные линии). На них хорошо видна структура снежной толщи и граница между снегом и поверхностью ледника. Диапазон толщин в пределах территории, охваченной съемкой, от 940 см (в тыловой части кара) до 150 см (на языке ледника).

Калибровка данных радиолокационной съемки толщины снега, а также измерения его плотности проводились с использованием традиционных гляциологических методов в шурфах с помощью лавинного шупа, плотномера ВС-43 и весов «Kern». В дополнение применялось оборудо-

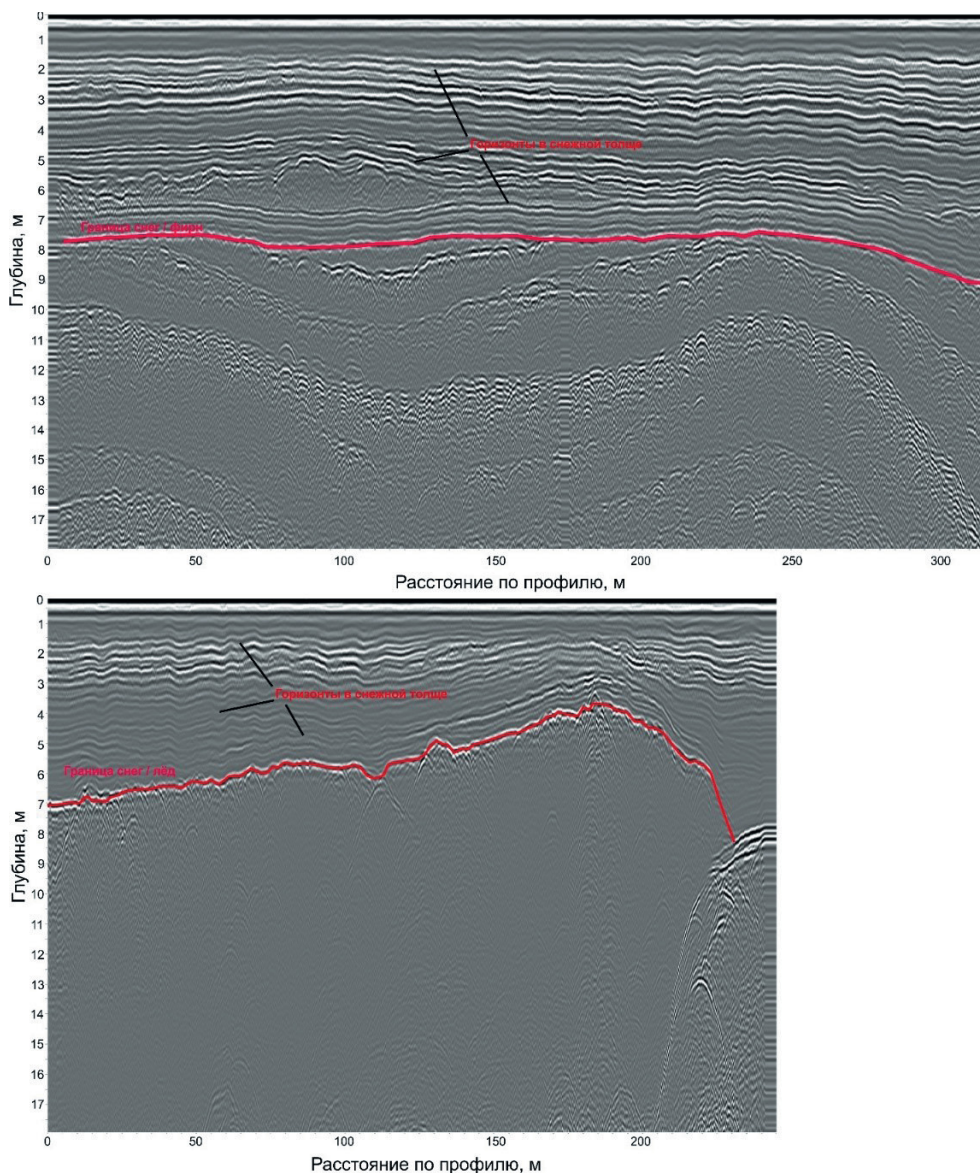


Рис. 6. Радарограммы по профилям № 5 и № 21

вание неглубокого кернового бурения (керновый бур «Kovacs, бензобур «Earthquake»). Измерения плотности снега были выполнены в снежной части керна скважины и шурфах (рис. 5, маркеры 0, 1, 2, 3, 4). Шурфы 1, 2 и 4 были использованы также при забурировании абляционных реек длиной 6 м для оценки величины абляции в конце периода таяния 2023 г. Все измерения сопровождалось координатной привязкой данных – GPS/GLONASS (табл. 1).

По предварительным данным, толщина снежного покрова по осевой линии ледника в 2023 году на участке от буровой скважины до шурфа № 4 была практически неизменной и составила 500 см. Структура снежной толщ без ледяных прослоек, плотность снега в зависимости от глубины находится в диапазоне от 0,30 г/см³ до 0,60 г/см³. Средняя плотность снега порядка 0,45 г/см³.

Сравнение с данными, полученными в шурфах, показало, что точность радиолокационных измерений составляет 10 см (соответственно погрешность оценки толщины снежного покрова не превышает 1÷2%).

Гляциологическое описание и повторное фотографирование ледников

Летние экспедиционные исследования 26-30 августа 2023 г. включали в себя гляциологическое описание и повторное фотографирование ледников Полярного Урала (ИГАН, Анучина, Фотогеодезистов), измерение абляции (снятие показаний с гляциологических реек, установленных в рамках весенней экспедиции и забуривание новых).

Работы на ледниках проводились в конце периода абляции и отражают состояние поверхности на завершение летнего сезона. В дни работы экспедиции преобладала теплая солнечная погода с переменной облачностью и редким выпадением дождя на ледниках. Анализ космических снимков Sentinel-2 (рис. 7) и фотографий туристов показал, что в последние дни сентября площадь льда, освободившаяся от сезонного снега, увеличилась, но незначительно, со второй половины сентября началась аккумуляция.

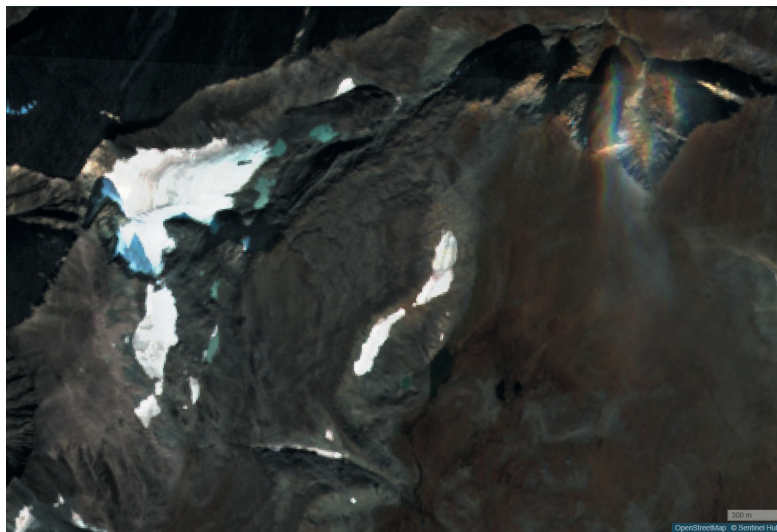


Рис. 7. Ледники ИГАН и Медвежий на космоснимке Sentinel, 12.09.2023 г.

В апреле со дна снежных шурфов были забурены шестиметровые абляционные рейки (см. рис. 5, табл. 1-2). К периоду летних работ на леднике две нижние рейки (2 и 4) почти вытаяли, а верхняя (1) лежала на поверхности ледника над трещиной (рис. 8, 9).

Таблица 2. Абляция на леднике ИГАН с апреля по август 2023 г. по рейкам

№ шурфа и рейки	Широта (N°)	Долгота (E°)	Глубина забуривания рейки в лед (см)	Остаток рейки во льду на 27.08.2023 (см)	Толщина стаявшего льда (см)
1	66,006428	67,580728	205	0	Более 205
2	66,00916	67,58106	260	54	206
4	66,01456	67,58163	250	10	240

В начале летнего периода (в июне) температура воздуха держалась на низких отметках, что замедляло таяние. В июле в районе ледника наблюдалось аномальное потепление, температура воздуха по прогнозу погоды в ночные часы достигала +13 °С, что привело к резкому увеличению интенсивности таяния сезонного снега на леднике толщиной 5 м 2-метрового многолетнего льда.



Рис. 8. Рейка 2
(фото М.Н. Иванова)



Рис. 9. Рейка 1 верх
(фото М.Н. Иванова)

В период наших работ на леднике ИГАН (27-28 августа) практически вся поверхность ледника была свободна от снега (рис. 10), лишь вдоль стенок кара прослеживалась полоса фирна, который выделяется по более серому цвету, и выше неё белая полоса сезонного снега под стенками кара.



Рис. 10. Ледник ИГАН с приледниковыми озёрами, 27.08.2023
(фото М.Н. Иванова)

Верхнее приледниковое озеро, которое в предыдущие годы непосредственно контактировало с ледником, в этом году в результате значительного стаивания края ледника лишилось ледяного берега. Между краем ледника и озером сформировался террасовидный уступ, сложенный моренным материалом, без видимых выходов коренных пород, возвышающийся над урезом воды на 1 метр. Верхнее озеро, как и в прошлом году, сохраняется на довольно низком уровне, сток осуществляется по двум ручьям, обтекающим холм с базисами 2017 г., на котором расположены камни с отметками положения края ледника на разные годы. Со стороны ледника ручей подмывает край ледникового языка, что привело к образованию клифа в период бурного таяния и последующего обрушения нависающей части с образованием трещины. Среднее озеро постепенно расширяется, по-прежнему контактирует с ледником, который оканчивается в воду в виде ледяного барьера высотой всего до 1 м по сравнению с 6-7 м в 2018-20 гг. Нижнее озеро сохраняется в своём обычном виде.

Внизу правой части ледника над озером открыт грот (рис. 11), достигающий ширины 4-5 м и высоты 1-2 м, переходящий выше в туннель под ледником, через который осуществляется сток талых вод, перехватываемых трещинами в верхней части ледника. Второй грот и подледниковый тоннель вскрывается в отмершей части ледника под базисом Ригель. Толщина замороженного льда достигает 4-5 м, диаметр туннеля до 2-3 м. При современной скорости деградации ледника в ближайшие годы перекрытия этих туннелей обрушатся, что приведёт к ускорению таяния льда по их краям. Вдоль стенок кара хорошо выражены бергш-рунды, на некоторых участках имеющие вид маргинальных каналов за счёт значительного стаивания края снежно-фирновой толщи из-за нагрева скальных стенок.



Рис. 11. Грот ледника ИГАН у верхнего озера (фото М.Н. Иванова)

Нами отмечено, что в результате значительной абляции и вытаявания скального выступа, северная (карровая) и южная (присклоновая) части ледника ИГАН разделились физически на два отдельных ледника (рис. 12).

Между верхним и средним озером на моренном холме мы продолжили маркировать положение края ледника на конец периода абляции, сделана надпись 2023 оранжевой краской (рис. 13). Отступление края ледника на этом участке не более 1 м по сравнению с 2022 г. Отступление около верхнего и нижнего озера более значительное.

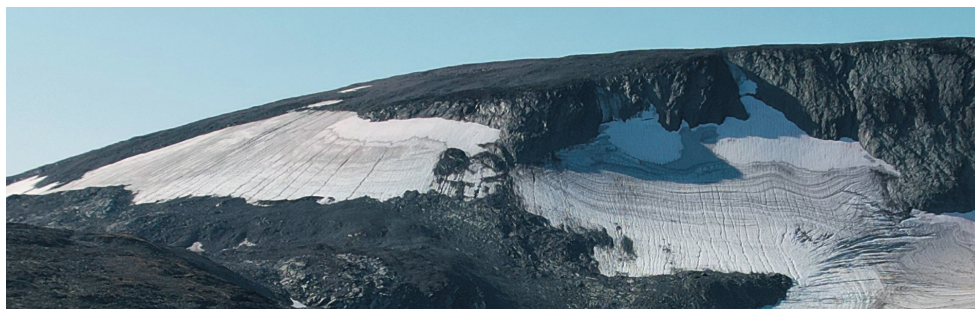


Рис. 12. Верхняя часть ледника ИГАН 05.09.2023 (фото Д. Кузнецова)



Рис. 13. Положение края ледника ИГАН на конец периода абляции (фото М.Н. Иванова)

Мотобуром Iron Mole E73 на леднике ИГАН пробурены скважины глубиной от 4 до 6 м с целью обустройства сети абляционных реек (рис. 14).

Первый профиль заложен в апреле, рейки на нём, после измерения вытаявания, переабурены и добавлены 5 новых (табл. 3, №№1, 2, 4, рис. 14). Второй профиль начат выше, в области питания. Рейка 2023-1 из трёх труб по 196 см забурена в снежно-фирновую толщу. Рейка 2023-2 — это 6 кусков труб суммарно 600 см. Рейка 2023-3 состоит из трубок 134 см (внизу) + 4 шт суммарно 398 см +48 см (вверху). Рейка 2023-4 расположена в правой нижней части ледника, представляет собой стальной трос с грузом из металлического стержня длиной ~50 см с отверстием. Через 2 м, начиная от кончика груза, стальными хомутами промаркированы отметки глубины. На поверхности оставлена петля с продетой в неё доской, чтобы трос не провалился в скважину. Рейка 2023-5 находится ближе к центру нижней части ледника (рис. 14) и представляет собой единую бамбуковую палку длиной 430 см, оставшуюся на леднике с периода 1957-1981 гг.

Таблица 3. Абляционные рейки на леднике ИГАН, установленные 28.08.2023 г.

№ рейки	Широта (N°)	Долгота (E°)	Глубина забуривания рейки в лед (см)	Остаток рейки на поверхности (см)
1	66,006428	67,580728	590	10
2	66,00916	67,58106	590	10
4	66,01456	67,58163	250	10
2023-1	66.001070	67.580607	382	10+196
2023-2	66.005593	67.579798	600	0
2023-3	66.008025	67.579855	580	0
2023-4	66.010329	67.579584	600	~100
2023-5	66.011967	67.579944	350	80

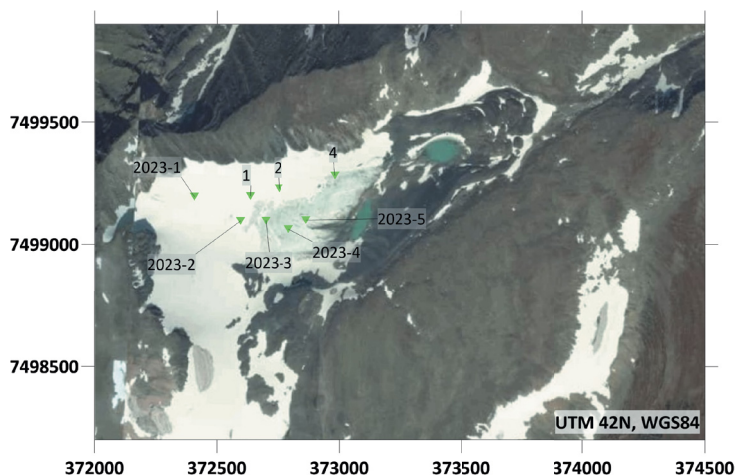


Рис. 14. Сеть абляционных реек, обустроенная в 2023 г.

Осмотр конечно-моренного комплекса МЛП ледника ИГАН показал, что морфология моренной поверхности на проксимальном склоне, в районе дренирования ручья из нижнего озера в подморенную толщу за последний год сохраняется без значительных изменений. На склоне правой береговой морены, вновь наблюдаются свежие террасы отседания, оплывины, радиально-расходящиеся от области дренирования ручья под морену, новый выход погребенного ледяного ядра морены.

На данном участке необходимо продолжение мониторинга льдосодержащей моренной толщи для предупреждения возможности формирования гляциального паводка.

К северу от озера Большая Хадата на северном склоне горы Анучина расположен одноименный типичный присклоновый ледник. По морфологическим признакам ледник относится к присклоновым, хотя в Каталоге ледников (1966) он принадлежал к каровым. Обнаруженный и зарисованный еще в 1938 году А.В. Хабаковым ледник имеет продолжительный ряд наблюдений.

На момент посещения край ледника хорошо выделяется визуально в отличие от предыдущих наблюдений в 2017 и 2020 гг. На леднике Анучина повторно проведена DGPS-съемка. По сравнению с нашим предыдущим обследованием в 2017 и 2020 гг. (рис. 15) выявлено, что визуально ледник уменьшился, поперечный профиль центральной части ледника стал менее выпуклым, что свидетельствует о понижении высоты поверхности и сокращении объема (рис. 16).



Рис. 15. Ледник Анучина
(фото М.Н. Иванова, 13.08.2017)



Рис. 16. Ледник Анучина
(фото М.Н. Иванова, 29.08.2023)

В наиболее низкой точке ледника на камне сделана отметка положения конца ледника в 2023 г. Вдоль современного северного края ледника протягивается моренный вал, поверхность которого вероятно была перекрыта льдом в середине 20 века, свидетельством чего является тот факт, что она сглажена, сложена в основном окатанными обломками. Ближе к леднику эта поверхность частично перекрыта обломочным неокатанным

материалом (абляционная морена), который вытаял из ледника и спроецировался на подстилающее моренное ложе.

В центральной части проксимального склона современной конечной морены, которая возвышается над ледником примерно на 5 м, формируются трещины отседания. Их образование связано с тем, что вместе с отступанием ледника уменьшилось его давление на моренный вал, грунт протаял, в результате он сползает по ледяному ядру в морене.

Ледник Фотогеодезистов расположен в 4 км от ледника ИГАН (см. рис. 1), в небольшом каре на склоне восточной экспозиции долины ручья Перевальный. Сведений о каких-либо работах на леднике не опубликовано, последняя фотография сделана в 1960 г. (рис. 17), по всей видимости, с тех пор ледник обследован впервые (рис. 18).

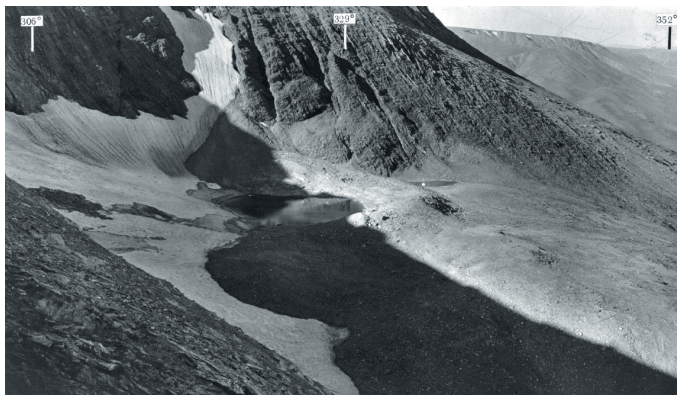


Рис. 17. Ледник Фотогеодезистов (Фото П.Н. Бруевич, август 1960)



Рис. 18. Ледник Фотогеодезистов (фото М.Н. Иванова, 30.08.2023)

В каре 3 разноуровневых мореноподпрудных озера. При обследовании в период МГГ длина ледника достигала 200 м, ширина 400 м. На аэрофотоснимке 1953 г. ледник спускался до нижнего озера, сейчас достигает

только верхнего озера. Ледник уменьшился до 100 м в длину и 200-300 в ширину.

Своим существованием ледник обязан метелевому снегопереносу с обширного плато, расположенного к западу. Повышенная аккумуляция обеспечивает достаточное снегонакопление для поддержания жизни ледника. На его поверхности вверху хорошо выделяются годовые слои, а нижняя часть, уходящая под воду озера, представлена льдом. Современные климатические тренды и озеро в каре способствуют ускоренной деградации этого ледника.

Заключение

Во время весенней экспедиции проведены геофизические и гляциологические исследования, которые включали радиолокационные измерения толщины снежного покрова, балансовые наблюдения на леднике. В результате получены данные о характеристиках снежного покрова в пределах поверхности ледника ИГАН, необходимые для оценки величины аккумуляции в 2022-2023 балансовом году. Предварительно (по результатам осенних наблюдений забуренных снегомерных вех), можно утверждать, что баланс массы 2022/2023 года в очередной раз был отрицательным. Продолжение наблюдений на развернутой сети снегомерных вех позволит в дальнейшем дать количественную оценку его величины.

Массив полученных данных радарных снегомерных измерений свидетельствует о практически неизменном количестве зимних осадков на протяжении последних лет. Это позволяет сделать вывод о том, что основной причиной интенсивного сокращения ледников Полярного Урала является солнечная радиация в летний период.

В августе 2023 г. нами отмечено, что в результате значительной абляции и вытаивания скального выступа, северная (каровая) и южная (присклоновая) части ледника ИГАН разделились физически на два отдельных ледника. Оценка прорывоопасности приледниковых озёр показала их условную стабильность и необходимость дальнейшего мониторинга. На леднике ИГАН обустроена сеть абляционных реек.

Проведены работы на леднике Анучина. По сравнению с предыдущими обследованием в 2017 и 2020 гг. выявлено, что ледник уменьшился, поперечный профиль центральной части ледника стал менее выпуклым, что свидетельствует о понижении высоты поверхности и сокращении объёма.

Состояние ледника Фотогеодезистов было оценено впервые за несколько десятков лет. Ледник значительно уменьшился в размерах, тем не менее благодаря метелевому снегопереносу с обширного плато, расположенного к западу, продолжает существовать. Современные климатические тренды и озеро в каре способствуют ускоренной деградации этого ледника.

Работа выполнена в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального НОЦ «Прогноз деградации мерзлоты и технология автоматизированного контроля несущей способности мерзлых грунтов под объектами капитального строительства»

Список литературы

1. Хабаков А.В. Полярный Урал и его взаимоотношения с другими складчатыми областями // Труды горно-геологического управления. Вып. 15. – М.-Л.: Изд-во Главсевморпути, 1945. – 77 с.
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., 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.
4. Каталог ледников СССР. Том 03. Северный Край. Ч.3 Урал. / Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 52 с.
5. Троицкий Л.С. О современной динамике ледников Полярного Урала. / Гляциологические исследования № 9. – 1963. – М.: АН СССР. – с. 94-102.
6. Сурова Т.Г., Троицкий Л.С., Пуннинг Я.-М. Палеогеография и абсолютная хронология голоцена Полярного Урала. // Изв. АН ЭССР. Химия, Геология. – Таллин: Т. 24, № 2. 1975. – с. 152–159.
7. Троицкий Л.С. Гляциальный морфогенез и история оледенения Полярного Урала в позднем плейстоцене и голоцене // МГИ. Хрон., обс., вып. 28. – М.: ВИНТИ, 1976. – с. 39–54.
8. Мартин Ю.Л. Формирование лишайниковых синузий на моренах ледников Полярного Урала. Автореф. дисс. к.б.н. – Свердловск, 1967. – 22 с.
9. Мартин Ю.Л. Динамика лишайниковых синузий и их биогеохимическая роль в экстремальных условиях среды. Автореф. дисс. д.б.н. – Таллин, 1987. – 22 с.
10. Тюлина Т.Ю. Способы исследования свойств массива льда в тоннеле ледника Обручева. // МГИ. Хрон., обс., вып. 34. – М.: ВИНТИ, 1978. – с. 245–253.
11. Иванов М.Н. Эволюция оледенения Полярного Урала в позднем голоцене. Москва: МГУ, 2013.
12. 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 // Лед и снег. – 2020. – № 60(1). – С. 42–57.
13. Лаврентьев И.И., Носенко Г.А., Глазовский А.Ф., Шеин А.Н., Иванов М.Н., Леопольд Я.К. Толщина льда и снежного покрова ледника

ИГАН (Полярный Урал) по данным наземного радиозондирования в 2019 и 2021 гг. // Лёд и снег. 2023;63(1):5-16. <https://doi.org/10.31857/S2076673423010106>

Сведения об авторах

Шеин Александр Николаевич, 1981 г.р., закончил механико-математический факультет НГУ, в 2010 г. защитил кандидатскую диссертацию. «Научный центр изучения Арктики» (Салехард, Россия), ведущий научный сотрудник сектора криосферы, к.ф.-м.н, доцент. Сфера научных интересов: численное моделирование электромагнитных и температурных полей, криолитозона, геотехнический мониторинг, импульсная электро-разведка, 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.

Носенко Геннадий Андреевич, 1953 г.р., в 1977 г. закончил МВТУ им. Н.Э.Баумана, факультет «Проектирование летательных аппаратов», в 1983 г. аспирантуру Института географии РАН, в 1984 г. защитил кандидатскую диссертацию, ведущий научный сотрудник отдела гляциологии Института географии РАН. Сфера научных интересов: режим ледников, изменения климата, методы дистанционного зондирования Земли, снежный покров.

Лаврентьев Иван Иванович, 1981 г.р., закончил географический факультет МГУ, в 2010 г. защитил кандидатскую диссертацию. Старший научный сотрудник отдела гляциологии Института географии РАН, к.г.н. Сфера научных интересов: режим ледников, изменения климата, методы дистанционного зондирования Земли, радиолокационная съемка, керновое бурение ледников.

Участие авторов

Шеин А.Н. — полевые работы, обработка данных, написание и редактирование текста;

Иванов М.Н. — полевые работы, обработка данных, написание и редактирование текста;

Носенко Г.А. – полевые работы, обработка данных, написание и редактирование текста;

Лаврентьев И.И. – полевые работы, обработка данных, написание и редактирование текста;

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

Статья поступила в редакцию 26.01.2024 г., принята к публикации 27.02.2024 г.

The article was submitted on January 26, 2024, accepted for publication on February 27, 2024.