

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Научная статья

УДК 551.321.61

doi: 10.26110/ARCTIC.2020.109.4.006

Георадиолокационные исследования на леднике Обручева

Ярослав Константинович Камнев¹, Михаил Николаевич Иванов²

¹Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия,

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

¹kamnevyk@gmail.com

²misha_scout@mail.ru

Аннотация. В работе приводятся результаты георадиолокационных зондирований, проводимых на леднике Обручева в 2019 году.

Ключевые слова: Полярный Урал, ледник Обручева, георадиолокация.

Цитирование: Я.К. Камнев, М.Н. Иванов Георадиолокационные исследования на леднике Обручева / Я.К. Камнев, М.Н. Иванов // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2020. – (109), №4. – С. 52-57. – DOI 10.26110/ARCTIC.2020.109.4.006

Original article

GPR studies on the Obruchev glacier

Yaroslav K. Kamnev¹, Mikhail N. Ivanov²

¹Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, Salekhard, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

¹kamnevyk@gmail.com

²misha_scout@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of GPR soundings carried out on the Obruchev glacier in 2019.

Keywords: Polar Urals, Obruchev glacier, GPR.

Citation: Ya.K. Kamnev GPR studies on the Obruchev glacier / Ya.K. Kamnev, M.N. Ivanov // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. – 2020. – (109), №4. – P. 52-57. – DOI 10.26110/ARCTIC.2020.109.4.006

Введение

Ледники горные или континентальные покровные являются чутким индикатором изменения климата, и к их изменениям приковано внимание мирового научного сообщества. В этом году Ямало-Ненецкому автономному округу, где располагается значительная часть ледников Полярного Урала, исполняется 90 лет. Всё это время они здесь системно изучались. До 1956 гг. на Урале было выявлено более 50 ледников. Ввиду отсутствия стационарных наблюдений, процессы, формирующие уральские ледники и

их режим, оставались не изучены (Каталог, 1966). Наиболее подробные исследования проводились в период Международного геофизического года 1957-1959 гг (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 уральский том Каталога 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 и сотрудниками Университета г. Познань в 2007-08 гг. С 2017 г. Научный центр изучения Арктики и Московский государственный университет проводят новые исследования на ледниках в районе Хадатинских озёр.

Ледник Обручева

Ледник расположен в верховье реки, впадающей с запада в оз. М. Хадата, обнаружен и назван в 1953 г. Л.Д. Долгушиным. При каталогизации был описан как каровый ледник, наиболее типичный для Урала, в настоящее время сохраняется в этом же морфологическом типе. С трех сторон окружен высокими скальными стенками, достигающими высоты 1 км (рис. 1). Ведущая роль в питании ледника принадлежит лавинному и поступающему через понижение в задней стенке кара метелевому снегу. Сохранению ледника способствуют высокие стенки кара, скрывающие часть ледника от прямых солнечных лучей.

В период МГГ и МГД входил в число опорных ледников СССР и Всемирной службы мониторинга ледников. С 1957 по 1981 гг. на леднике проводились масштабные комплексные гляциологические исследования, которые позволили считать ледник Обручева наиболее изученным не только в СССР, но и в мире. Проведены крупные работы по изучению баланса-массы ледника Обручева. За 24 сезона наблюдений получен довольно длительный ряд

измерений баланса массы ледников, установлена тесная связь вещественного баланса с температурой воздуха, что позволяет проводить реконструкцию величин баланса массы на период отсутствия прямых измерений в прошедшие годы. Для проверки такой реконструкции возможно использовать данные о высоте поверхности ледника, получаемые различными съемками. В 1963 г. проводилась наиболее детальная стереофотограмметрическая съёмка ледника для составления топоплана 1:5000, так же съемки проведены в 1958, 1959, 1960, 1969, 1971, 1973, 1981 гг. Наземная съемка с использованием дифференциального GPS проводилась сотрудниками ИГ РАН в 2008 г. и нами в 2019 гг.

Ледник с 1953 г. постепенно сокращается, с непродолжительным стационариванием в 1963-1973 гг. и к настоящему времени сократился более чем в 2 раза по площади и длине. Длина ледника в 1953 г. превышала 1 км, на 2019 г. менее 0.5 км, площадь на 1953 г. 0,36 км², современная 0,2 км².

На момент посещения ледниковый язык в центральной части был свободен от снега, вскрывались годовые слои льда, разбитые неширокими или сросшимися трещинами в различных направлениях. Слои имеют несколько провисаний, свидетельствующих о неравномерности скорости движения льда в поперечном створе. Поверхность покрыта многочисленными скальными обломками, криоконитом, испещрена множеством ручьёв. В ходе обследования ледника обнаружено, что по сравнению с предыдущим обследованием в 2010 г. его поверхность понизилась, край отступил в языковой части более чем на 10 метров.



Рис. 1. Ледник Обручева, обрамлённый моренными валами, фото М.Н. Иванов, 24.08.2019 г.

Метод георадиолокации

Метод георадиолокации (ГРЛ) основан на эффектах отражения электромагнитных волн от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства – электропроводность и диэлектрическая проницаемость. Основными величинами, измеряемыми при георадиолокации, являются время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приёмника, а также амплитуды этих отражений.

Передающая антенна георадара излучает короткие (единицы и доли наносекунды) электромагнитные импульсы, обеспечивающие высокую разрешающую способность и широкий спектр излучения. Генерируемый электромагнитный импульс отражается от ложа ледника и находящегося в среде моренно-обломочного материала или иных неоднородностей, отличающихся по диэлектрической проницаемости или электропроводности. Такими неоднородностями могут быть пустоты, границы слоёв различных пород, области с различной влажностью и т.д.

Отражённый сигнал принимается приёмной антенной, преобразуется в цифровой вид и запоминается для дальнейшей обработки.

Границы слоёв прослеживают на сигналах по протяжённым осям синфазности, а локальные объекты выделяются по наличию дифрагированной волны (гиперболе дифракции).

Глубинность и разрешающая способность ГРЛ зависят от центральной частоты зондирующего импульса. Максимальная глубинность исследований на леднике может составлять десятки и больше метров из-за высокого удельного электрического сопротивления, характеризующегося малым затуханием волн.

Результатом ГРЛ-зондирования является георадиолокационный профиль или радарограмма – массив амплитуд отражённых и дифрагированных волн с дополнительной информацией по каждому пикету зондирования, записанный в файл и визуализируемый в виде временного или вертикального разрезов исследуемой среды.

Методика исследований

Георадиолокационное зондирование на леднике Обручева выполнялось для исследования его мощности. Для этого было заложено три ключевых продольных профиля, и девять уточняющих поперечных (рис. 2).

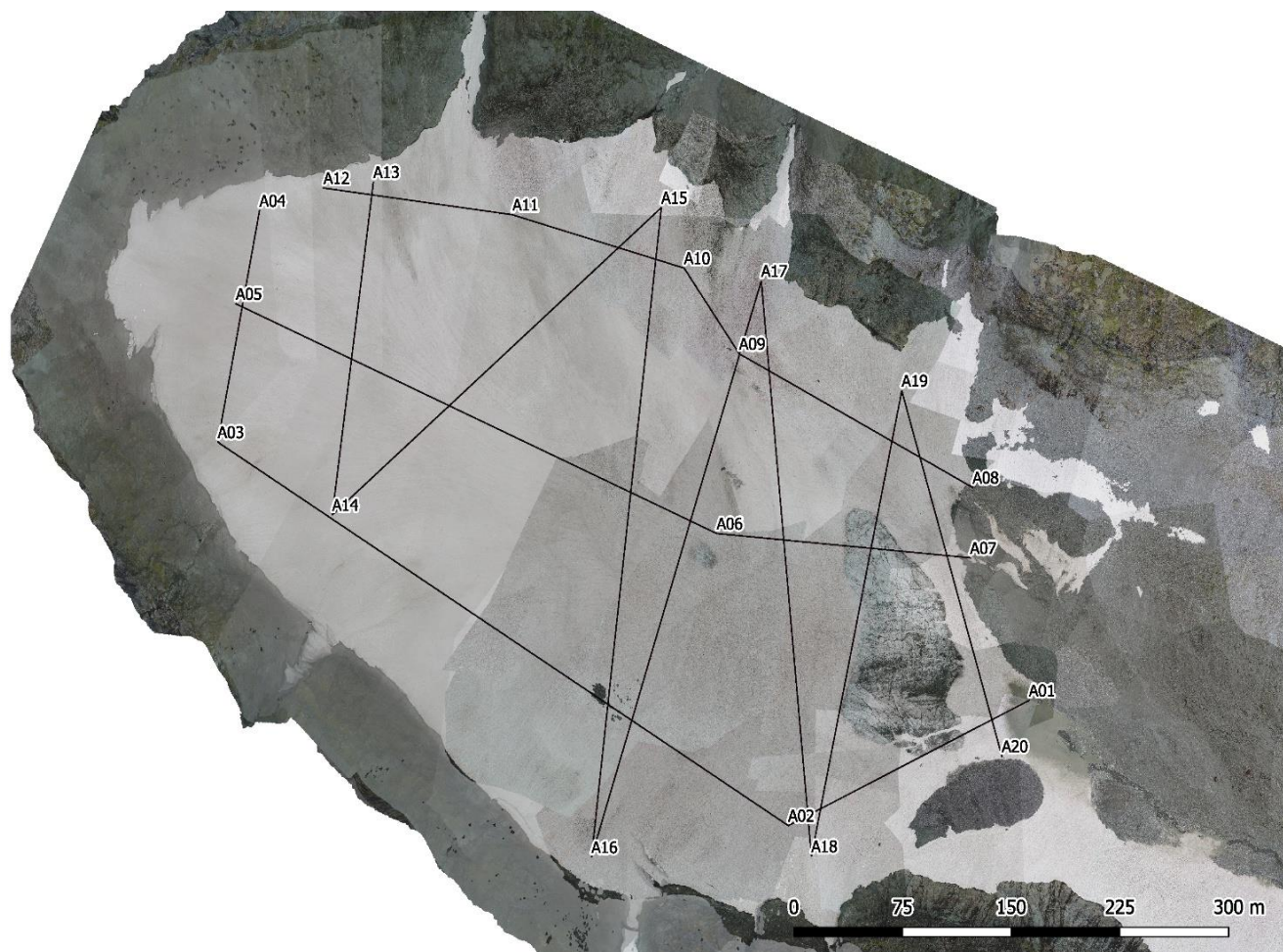


Рис. 2. Схема профилей зондирования на леднике Обручева.

Используемая аппаратура: сертифицированный георадарный комплекс «ОКО-2». Рабочая частота антенного блока - 150 МГц. Перед началом измерений выставлялись следующие настройки прибора: длительность временной развёртки – 800 нс, накопление – 16, диэлектрическая проницаемость среды – 3. Перемещение прибора осуществлялось волоком. Фиксирование пройденного расстояния производилось с помощью мерного колеса, входящего в комплект ОКО-2.

Результаты исследований

Полученные радарограммы обрабатывались путём определения границ отражения. До проведения границы ложа ледника проводилась первичная обработка данных (выставление нуля, вычитание среднего и т.д.). Граница проводилась в ручном режиме пикировки, пример обработки представлен на рисунке 3.

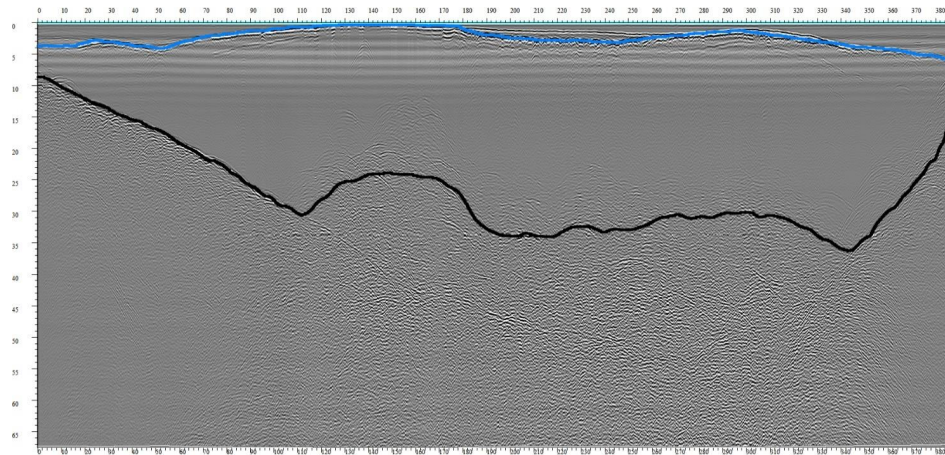


Рис. 3. Пример обработки радарограммы

Вычисление диэлектрической проницаемости ледника определялось по дифрагированным волнам от крупных обломков и в среднем составляет 3. Ложе ледника прослеживается чётко практически на всех участках профиля, однако есть места, где его сложно различить из-за обилия морен-

но-обломочного материала. Кроме того, по радарограммам была выделена толщина снега и фирна в верхней части ледника.

Определённая по георадарным мощность ледника и покрывающего его снега изображена на рисунках 4 и 5 соответственно.

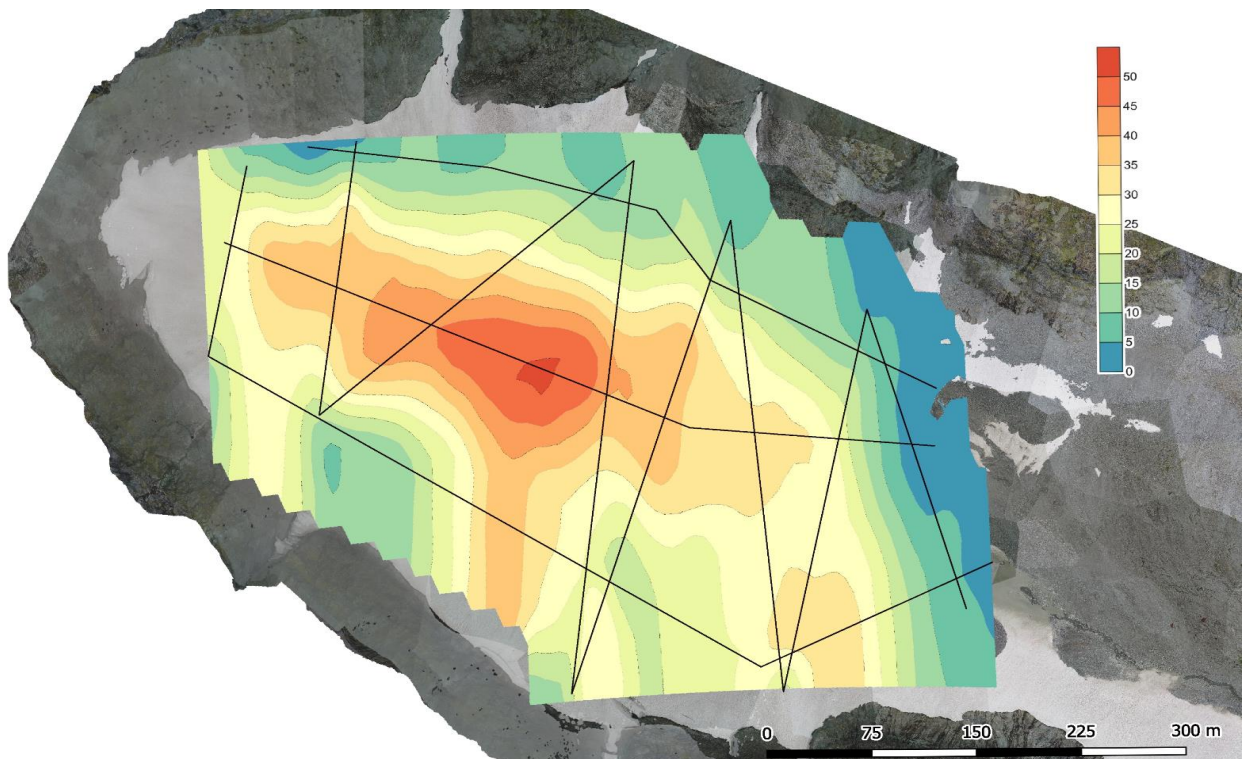


Рис. 4. Мощность ледника Обручева по данным георадиолокации.

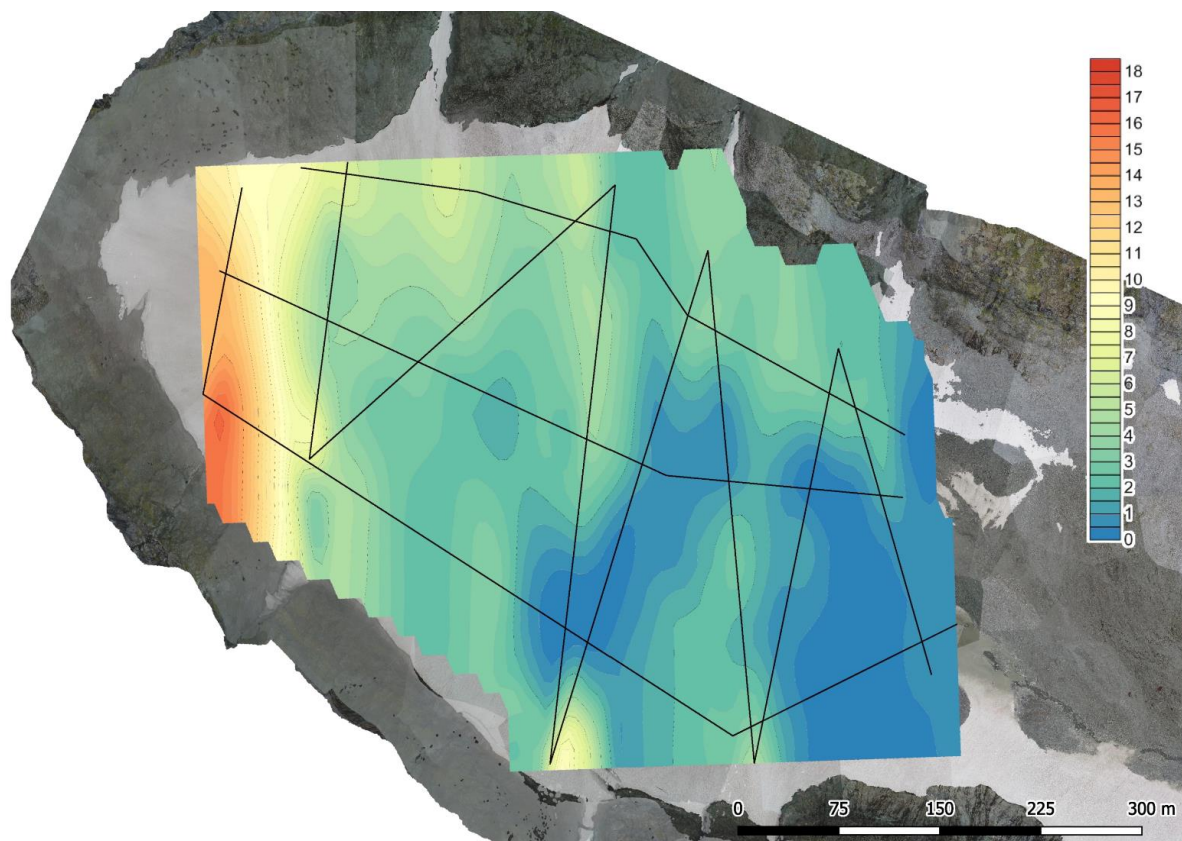


Рис. 5 Толщина снега, покрывающего ледник по данным георадиолокации.

Заключение

В 2019 году с помощью метода радиолокации было детально изучено текущее состояние ледника Обручева. В ходе исследований были получены карты мощности снега и льда. В дальнейшем, наложив

карту поверхности ледника, полученную с помощью геодезии в этом же году, можно будет определить карту высот ложа ледника и использовать её для расчёта текущего запаса льда во все последующие годы с помощью только топографической съёмки.

Список источников

1. Иванов М.Н. Эволюция оледенения Полярного Урала в позднем голоцене – М.: МГУ, 2013. 200 с.
2. Долгушин Л.Д. Ледники Урала и некоторые особенности их эволюции. // Вопросы физической географии Урала. М.: МОИП, 1960, с. 33-60.
3. Каталог ледников СССР. Том 03. Северный Край. Ч.3 Урал. / Л.: Гидрометеиздат, 1966. 52 с.
4. Кеммерих А.О. Новый район оледенения (ледники Полярного Урала) // Природа, № 2, 1960. с. 78-79.
5. Троицкий Л.С. О современной динамике ледников Полярного Урала. / Гляциологические исследования № 9. – М.: АН СССР, 1963, с. 94-102.

6. 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.
7. Remote Sensing of Glaciers: Techniques for Topographic, Spatial and Thematic Mapping of Glaciers // Pellikka Petri & W. Gareth Rees Taylor & Francis, 2009. ISBN-13 978-0415401661. 340 pp.
8. Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников – М.: Научный мир, 2006. 392 с.
9. Камнев Я.К. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Современные изменения климата, оледенение и мониторинг ледников Полярного Урала», Научный центр изучения Арктики, Салехард, 2019.

References

1. Ivanov M. N. Evolution of glaciation of the Polar Urals in the late Holocene - Moscow: MSU, 2013. 200 p.
2. Dolgushin L. D. Glaciers of the Urals and some features of their evolution. // Questions of the physical geography of the Urals. M. : MOIP, 1960, p. 33-60.

3. Catalog of glaciers of the USSR. Volume 03. North Edge. Part 3 Ural. / L. : Gidrometeoizdat, 1966.52 p.
4. Kemmerich A. O. New glaciation area (glaciers of the Polar Urals) // Priroda, no. 2, 1960. p. 78-79.

5. Troitsky L.S. On the modern dynamics of the glaciers of the Polar Urals. / Glaciological research № 9. - М.: AN SSSR, 1963, p. 94-102.

6. 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.

7. Remote Sensing of Glaciers: Techniques for Topographic, Spatial and Thematic Mapping of Glaciers //

Pellikka Petri & W. Gareth Rees Taylor & Francis, 2009. ISBN-13 978-0415401661. 340 pp.

8. Macheret Yu. Ya. Radio sounding of glaciers - Moscow: Scientific world, 2006. 392 p.

9. Kamnev Ya.K. and others. Report on research work "Modern climate change, glaciation and monitoring of glaciers in the Polar Urals", The Arctic research center of the Yamal-Nenets Autonomous District, Salekhard, 2019.

Сведения об авторах:

Ярослав Константинович Камнев, 1987 г.р., закончил физический факультет НГУ, в 2016 г. защитил кандидатскую диссертацию. ГКУ ЯНАО «Научный центр Изучения Арктики» (Салехард, Россия), заведующий сектором криосферы, к.ф.-м.н. Сфера научных интересов: криолитозона, геотехнический мониторинг, импульсная электроразведка, электротомография, георадиолокация.

Михаил Николаевич Иванов, 1982 г.р., закончил географический факультет МГУ, в 2012 г. защитил кандидатскую диссертацию. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия), научный сотрудник кафедры криолитологии и гляциологии, к.г.н., Сфера научных интересов: палеогляциология, гляциальная геология и геоморфология, соотношения покровных и горных ледников с многолетнемерзлыми толщами и пластовыми льдами, гляциоидроклиматология.

Information about the authors:

Yaroslav Konstantinovich Kamnev was born in 1987, graduated from the Faculty of Physics of the Novosibirsk State University, and in 2016 he defended his PhD thesis. Head of the Cryosphere Sector of the Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District (Salekhard, Russia), Candidate of Physico-Mathematical Sciences. Research interests: cryolithozone, geotechnical monitoring, transient electromagnetics, electrical resistivity tomography, ground penetrating radar.

Mikhail Nikolaevich Ivanov was born in 1982, graduated from the Faculty of Geography of Moscow State University, in 2012 he defended his PhD thesis. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia), Researcher, Department of Cryolithology and Glaciology, PhD, Candidate of Geographic Sciences. Research interests: paleoglaciology, glacial geology and geomorphology, correlation of ice sheets and mountain glaciers with permafrost strata and sheet ice, glaciohydroclimatology.

Статья поступила в редакцию 18.10.2020 г., принята к публикации 16.11.2020 г.

The article was submitted on October 18, 2020, accepted for publication on November 16, 2020.