

УДК 556.124.4

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-409-417

М.А. Викулина¹, М.В. Зимин², Ф.А. Романенко³

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАЛОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ В ХИБИНАХ

АННОТАЦИЯ

Наличие малого оледенения в Хибинах было открыто В.Ф. Перовым в 1958 г. С тех пор и до начала XXI в. изучения ледников в этом районе не проводилось. В Мурманской области в настоящее время наблюдается потепление. Повышение среднегодовой температуры составляет $2,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ за последние 50 лет. В этой связи, по аналогии с другими арктическими районами, где отмечается деградация оледенения, ледники в Хибинах должны были существенно сократить свои размеры или, как предсказывали некоторые исследователи, исчезнуть совсем. С целью оценки изменения площадей ледников мы провели комплексное исследование малых форм оледенения в Хибинах с применением геоинформационных методов и методов дистанционного зондирования. В нашем исследовании мы использовали аэрофотоснимки 1958 г., цифровые модели, построенные на основании современных натуральных измерений, и космические снимки за разные по метеопараметрам годы. Наши исследования показывают, что в начале 2000-х годов ледники существенно сократились и наметилась тенденция к их полному исчезновению. Их площади уменьшились более, чем в два раза, по сравнению с показателями, полученными в 1958 г. Начиная с 2008 г., ледники стали восстанавливать свои размеры. Этот факт может быть связан с увеличением количества твердых осадков и слабым ростом среднелетних температур. За последние 15 лет осредненные площади двух ледников (№ 3 и № 4) превышают размеры, зафиксированные в 1958 г. Ледники № 1 и № 2 сократились в 3 раза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Кольский полуостров, Хибины, малое оледенение, сокращение ледников, космические снимки

¹ Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail*: masanna2003@mail.ru

² Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail*: ziminmv@mail.ru

³ Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail*: faromanenko@mail.ru

Marina A. Vikulina¹, Mihail V. Zimin², Fedor A. Romanenko³

ASSESSMENT OF THE SIZE OF VERY SMALL GLACIERS IN Khibiny MOUNTAINS

ABSTRACT

The presence of very small glaciation in the Khibiny mountains was discovered by V.F. Perov in 1958. Since then and until the beginning of the 21st study of glaciers in this area has not been carried out. In general, warming is recorded on the Kola Peninsula. The average annual increase in temperature is $2.3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ during the last 50 years, which correlates with the data of other researchers. The glaciers in the Khibiny mountains should have significantly reduced their size in this connection. In other Arctic regions degradation of glaciation is noted. Some researchers predicted to disappear of Khibiny glaciation. In order to assess the change in glacier areas, we carried out a comprehensive study of small glaciers in the Khibiny mountains. We studied dynamics of glaciers over the past 15 years using field observations and the use of GIS and remote sensing methods. In our study, we used aerial photographs of 1958, digital models built on the basis of field measurements, and satellite images for years different in meteorological parameters. Our research shows, despite the slight degradation of glaciation, this tendency is modest and glaciers' area remains relatively stable. Our research shows that glaciers shrank significantly in the early 2000s and showed a tendency towards complete disappearance. Their area has decreased by more than two times compared to the figures obtained in 1958. This fact may be caused by the increase in snow precipitation through in recent years. After 2007, there has been an increase in snow precipitation. In subsequent years, starting in 2008, the glaciers began to regain their size. Over the past 15 years, the average area of two glaciers (No. 3 and No. 4) exceeds the size of 1958. Glaciers No. 1 and No. 2 have shrinkage.

KEYWORDS: Kola Peninsula, Khibiny mountains, very small glaciers, glacier shrinkage, satellite imagery

ВВЕДЕНИЕ

Наличие оледенения в столь невысоких горах как Хибины (1200 м, г. Юдычвумчорр) объясняется тем, что за долгую полярную зиму (7–9 месяцев) выпадает большое количество снега, который не всегда успевает растаять за короткое прохладное лето. Более шестидесяти лет назад, во время Международного Геофизического года, в 1958 г. сотрудник Хибинской географической базы [Vikulina et al., 2021] В.Ф. Перов [Перов, 1968] открыл в Хибинах четыре

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia;
e-mail: masanna2003@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia;
e-mail: ziminmv@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia;
e-mail: faromanenko@mail.ru

небольших ледника (рис. 1). Ледники были внесены в Каталог ледников [Каталог., 1966] и до начала XXI в. подробно не изучались.

В Мурманской области наблюдается повышение среднегодовой температуры, которое составляет $2,3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ за последние 50 лет [Marshall et al., 2016]. По данным разных исследований [Коваленко, 2011; Сарана, 2012; Ананичева, 2014; Носенко и др., 2020] в горных районах арктического региона наблюдается деградация оледенения и уменьшение площадей ледников на 22 % за 10 последних лет [Носенко и др., 2020]. Повышение температуры на Кольском полуострове, по аналогии с другими горными районами, должно было привести к сокращению малых форм оледенения и в Хибинах. Некоторые исследователи прогнозировали их полное исчезновение в начале XXI в. [Зюзин, 2006].

Малые формы оледенения, которые по своим размерам являются где-то уже переходными к многолетним снежникам, достаточно широко распространены и были описаны в Алайском хребте [Glazyrin, 1997], в Японии [Kawashima et al., 1993], Канаде [Debeer et al., 2009] и в Европе [Kuhn, 1995]. Такие образования, которые в обязательном порядке должны содержать в себе ледяное ядро, могут существовать десятки и даже сотни лет и сравнительно слабо или совсем не реагировать на изменения климата, в отличие от более крупных ледников. Они сохраняются в своем устойчивом состоянии длительное время, то увеличиваясь, то уменьшаясь в размерах.

В 2005–2020 гг. мы провели комплексное исследование малых форм оледенения в Хибинах в ходе экспедиционных работ и камерального анализа космических снимков с целью отследить динамику ледников.

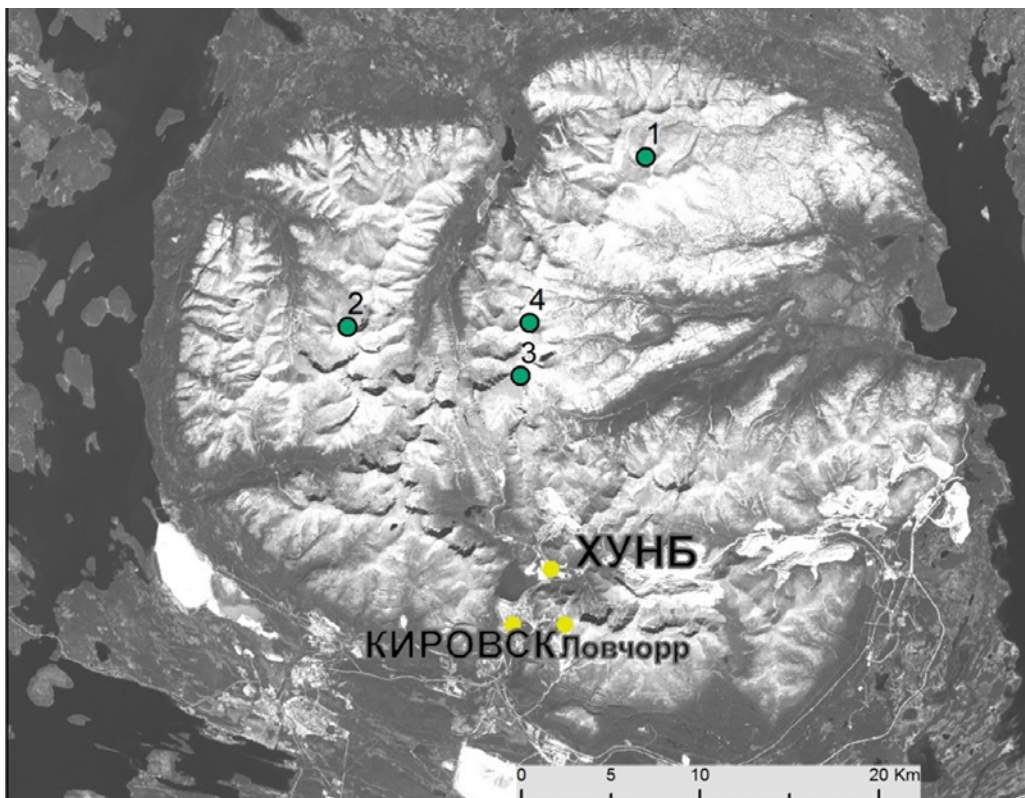


Рис. 1. Расположение ледников в Хибинах – зеленые точки.

ХУНБ – Хибинская учебно-научная база Географического факультета МГУ

Fig. 1. The location of the glaciers in the Khibiny mountains – green dots.

ХУНБ – Khibiny educational and scientific station of the Geography Department of Moscow State University

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексное исследование малых форм оледенения в Хибинах проходило в два этапа. В 2005–2009 гг. нами проводилось визуальное наблюдение за ледниками в течение всего периода абляции, измерение ледников на момент максимального снеготаяния в конце августа – сентябре и создание цифровых моделей [Викулина, 2008].

В дальнейшем, в 2009–2020 гг. проводился анализ динамики изменения площадей малых ледников с использованием космических снимков на период конца абляции (табл. 1). При выборе снимков мы руководствовались наличием безоблачных снимков на нужный период в разные по метеопараметрам годы: GeoEye-1 (2009; 0,5м), World View2 (2012; 0,5 м), Spot7 (2016, 2019; 1,5м), Spot6 (2017, 2018; 1,5 м). 2018 г. характеризовался аномально жарким летом, размеры ледников сравнивались с таковыми в 2005 гг., когда лето было также жарким. Анализировались снимки за 2012, 2017, 2019 гг. с холодным летом, а в 2017 г. – еще и многоснежным. 2009 и 2016 гг. были средними по значениям температуры и количеству твердых осадков. Имевшиеся в нашем распоряжении аэрофотоснимки 1958 г. позволили существенно увеличить хронологическую глубину исследования.

При дешифрировании контуров ледников таких малых размеров (средняя длина и ширина составляет 50–100 м) разрешение в 1,5 м достаточно критично. Лучшим вариантом было бы использовать снимки разрешением в 0,5 м, но, к сожалению, не всегда можно найти безоблачные снимки на необходимый период (рис. 2).

Для анализа существующих климатических изменений в центре Кольского полуострова мы рассмотрели динамику температур и твердых осадков, используя данные, полученные на метеоплощадке Хибинской учебно-научной базы, и электронные архивы метео данных¹.

Табл. 1. Материалы для анализа динамики ледников
Table 1. Data for analyzing glacier dynamics

Год	Дата залета, съемки, измерений	Источник данных	Разрешение снимка, м	Метеорологические особенности
1958	14.08	аэрофотоснимок		средние показатели
2005	25.08–5.10	измерения на местности, цифровая модель		жаркое лето
2006	17–18.09	измерения на местности, цифровая модель		малоснежная зима
2007	25.08	измерения на местности, цифровая модель		средние показатели
2008	25–26.09	измерения на местности, цифровая модель		холодное лето
2009	22.08	GeoEye1	0,5	средние показатели
2012	09.09	WorldView 2	0,5	холодное лето
2016	10.09	Spot7	1,5	средние показатели
2017	15.08	Spot6	1,5	холодное лето, многоснежная зима
2018	11.09	Spot6	1,5	жаркое лето
2019	29.08	Spot7	1,5	холодное лето

¹ Электронный ресурс: <http://www.meteo.ru> (дата обращения 15.02.2021)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Малые ледники Хибин очень невелики по площади и толщине (табл. 2) и располагаются на высотах 900–1000 м в благоприятных для повышенного снегонакопления условиях: № 1 – в верхней части склона северной экспозиции (рис. 3а); № 2 – у подножия склона северной экспозиции (рис. 3б); № 3 и № 4 – в узких скальных кулуарах восточной экспозиции (рис. 3в,г).

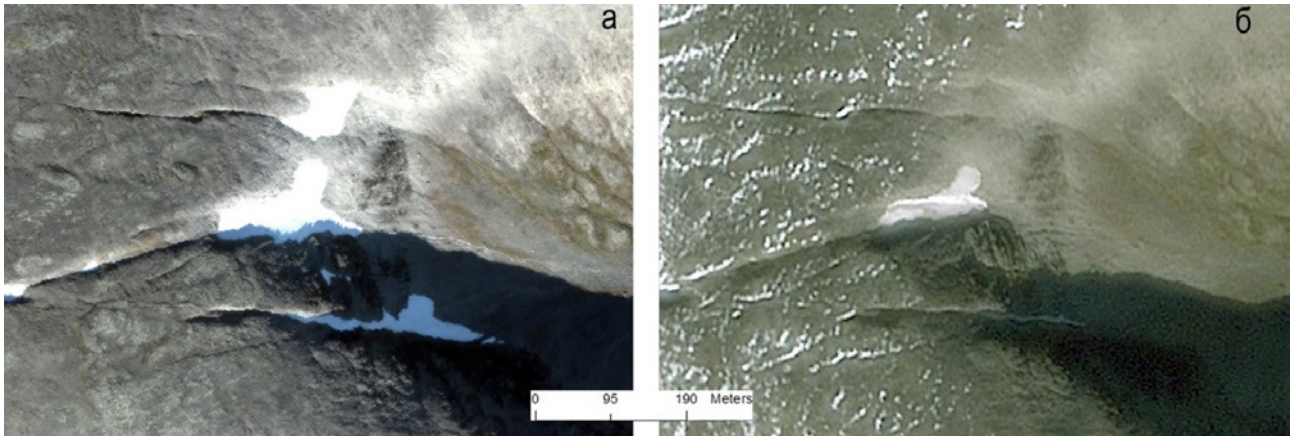


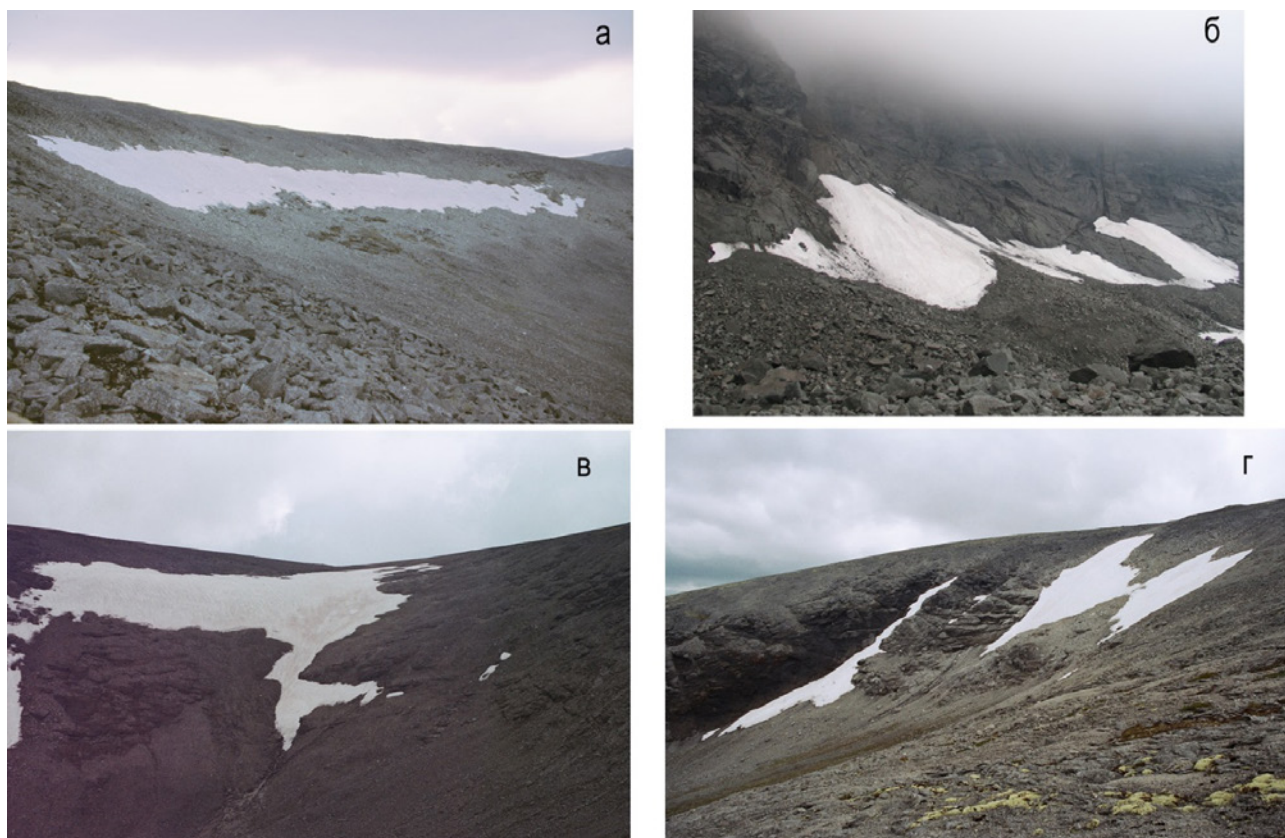
Рис. 2. Ледник № 4: а – на снимках WorldView 2 (09.09.2012, разрешение 0,5 м) и б – на снимке Spot7 (10.09.2016, разрешение 1,5 м)

Fig. 2. Glacier No. 4 in WorldView 2 images (09.09.2012, resolution 0.5 m) and in the Spot7 image (09/10/2016, resolution 1.5 m)

Табл. 2. Ледники Хибин
Table 2. Glaciers of Khibiny mountains

№ ледника в Каталоге ледников [1966]	Морфологический тип	Высотный диапазон, м	Толщина льда, м (год измерения)	Площадь ледника в 1958 г., км ²	Средняя площадь ледника за 2005–2019 гг.
1	Карнизный ледник – навесный	1030–1100	0,1 – 0,2 (2006)	0,03	0,01
2	Лавинный ледник подножия склона	890–980	0,2–0,66 (2006–2007)	0,03	0,01
3	Ледник кулуара – навесный	940–1070	1,6 (2007)	0,02	0,03
4	Ледник кулуара – навесный	910–1000	не удалось измерить	0,015	0,03

Условия существования оледенения объясняются наличием короткого безморозного периода на плато, который составляет всего около 40 дней, а также обилием твердых осадков. Устойчивый снежный покров на плато залегает с начала октября по начало июня. Из-за сильных ветров, а среднемесячная скорость ветра в зимние месяцы достигает 6,5 м/с, до 70 % снега сносится с плато на прилегающие склоны [Зайка и др., 2012].



*Рис. 3. Ледники Хибин: а – № 1; б – № 2; в – № 3; г – № 4
(Фото М.А. Викулина, Ф.А. Романенко)*

*Fig. 3. Very small glaciers of Khibiny mountains а – No. 1; б – No. 2; в – No. 3; г – No. 4
(Photo by M.A. Vikulina and F.A. Romanenko)*

Таким образом, ледники в Хибинах существуют благодаря достаточному количеству твердых осадков и их концентрации на подветренных склонах и в понижениях, куда снег сдувается ветрами при метелях.

Анализ августовских и сентябрьских космо- и аэроснимков показал, что самые благоприятные условия для формирования и сохранения ледников и снежников в Хибинах складываются на северных, северо-восточных и восточных склонах скальных массивов в отрицательных формах рельефа. В карах и цирках лежит около 60 % от общего числа снежников, причем чаще всего на склонах восточной экспозиции. Примерно четверть снежников находится в долинах рек, ручьев и в малых эрозионных формах, остальные – в перевальных ущельях и межгорных седловинах.

Данные равнинных метеостанций показывают, что среднегодовые температуры повышаются, но при рассмотрении сезонных изменений оказывается, что подъем происходит только за счет зимних, весенних и осенних температур. Таким образом, летние температуры практически не изменились за последние 50 лет. Это согласуется с исследованиями в других арктических районах [Shilovtseva et al., 2011]. По данным, полученным на метеоплощадке Хибинской учебно-научной базы за последние 36 лет, установлено, что начало 2000-х гг. характеризовалось малоснежными зимами при минимуме в 2002–2003 гг. и 2005–2006 гг. Высота снежного покрова не превышала 55 см. В последующие годы, начиная с 2007-го, количество твердых осадков непрерывно росло и достигло максимума в зиму 2019–2020 гг., когда толщина снежного покрова составила 230 см. Также многоснежными зимами являются зимы 2013–2014 гг. и 2016–2017 гг.

Сравнение площадей ледников за последние 15 лет показывает, что ледники постоянно меняют свои размеры, и это коррелирует со снежностью предшествующей зимы и средними температурами лета (рис. 4). В 2005 г. ледники были близки по своим размерам к измерениям 1958 г. [Перов, 1966]. Но затем началась стремительная деградация, что мы связываем с мало-снежными годами начала 2000-х и жарким летом 2005 г. Последующее увеличение количества твердых осадков, начиная с 2007 г., и холодное лето 2008-го привели к тому, что ледники восстановили свои размеры (рис. 5).

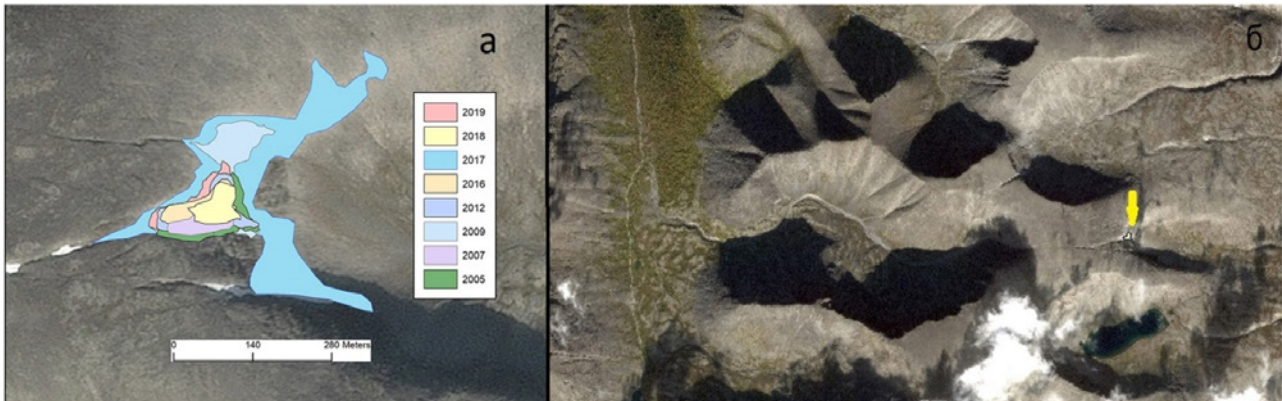


Рис. 4. Контуры ледника № 4 в разные годы (а).
 Местонахождение ледника № 4 на снимке Spot7 (29.08.2019) (б)
 Fig. 4. Glacier No. 4 contours in different years (a).
 Location of glacier No. 4 on the Spot7 image (29.08.2019) (b)

В настоящее время ледники № 3 и № 4 стабильны и в среднем превышают размеры 1958 г. (табл. 2). Ледники № 1 и № 2 в среднем уменьшились по сравнению с 1958 г., но продолжают сохранять свою целостность даже в аномально жаркие годы, когда среднелетние температуры поднимаются выше средних значений на 2 °С (2013, 2016, 2018 гг.).

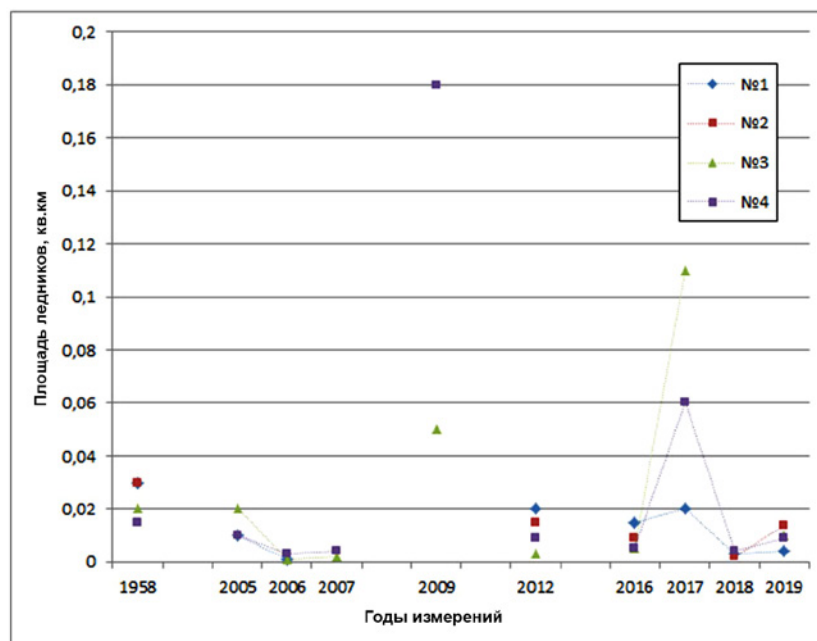


Рис. 5. Значение площадей ледников в Хибинах в разные годы
 Fig. 5. The significance of glacier areas in the Khibiny mountains in different years

ВЫВОДЫ

Можно сказать, что, несмотря на то, что в других арктических регионах происходит деградация оледенения, ледники Хибин показывают свое достаточно стабильное состояние при значительных изменениях площадей год от года.

Осредненные значения площадей ледников показывают, что ледники № 3 и № 4 сохраняют свои размеры с 1958 г., а в какие-то годы превышают их. Ледники № 2 и № 3 сократились в 3 раза и скорее всего в обозримом будущем могут исчезнуть. Это в том числе может быть связано с изменением направлений преобладающих ветров, которые тоже, в свою очередь, оказывают влияние на снегонакопление на склонах плато.

Длительное существование малого оледенения в Хибинах подтверждает гипотезу об устойчивом состоянии подобных образований, несмотря на климатические изменения. Малые формы оледенения площадью менее 0,05 км² не могут считаться индикаторами изменения климата, потому что оказываются более устойчивыми, чем крупные ледники. Они сохраняют свой стабильный режим – периодически сокращаясь до малых размеров, когда сходит весь накопленный за предыдущие годы снег, фирн и частично лед, чтобы в следующем году восстановить свои размеры.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-05-60221).

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No. 18-05-60221.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананичева М.Д.* Оценка площадей, объемов и высот границы питания ледниковых систем Северо-Востока России по космическим снимкам начала XXI в. *Лед и Снег*. 2014. № 1. С. 35–47.
2. *Викулина М.А.* Использование геоинформационных систем для исследования гляциально-нивальных явлений. МГИ, 2008. Вып. 105. С. 120–124.
3. *Зайка Ю.В., Викулина М.А., Черноус П.А.* Многолетняя динамика нивальных процессов в Хибинах. *Лед и снег*. 2012. № 1. С. 69–74.
4. *Зюзин Ю.Л.* Суровый лик Хибин. Мурманск: Реклам. полиграфия, 2006. 236 с.
5. Каталог ледников СССР. Т. 1. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1966. С. 45–51.
6. *Коваленко Н.В.* Режим и эволюция малых форм оледенения. М.: МАКС ПРЕСС, 2011. 240 с.
7. *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. Т. 60. № 1. С. 42–57.
8. *Перов В.Ф.* Снежники, ледники и мерзлотный рельеф Хибинских гор. М.: Наука, 1968. 120 с.
9. *Сарана В.А.* Малые ледники Российского сектора Арктики и Субарктики. *Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2012. № 2. С. 82–87.
10. *Glazyrin G.E.* Regime of existence of old snow patches – almost glaciers. 34 Selected Papers on Main Ideas of the Soviet Glaciology, 1940s–1980s. Moscow, 1997. P. 314–321.
11. *Debeer C.M., Sharp M.J.* Topographic influences on recent changes of very small glaciers in the Monashee Mountains, British Columbia, Canada. *Journ. of Glaciology*. 2009. V. 55. No. 192. P. 691–700. DOI:10.3189/002214309789470851.
12. *Kawashima K., Yamada T., Wakahama G.* Investigations of internal structure and transformational processes from firn to ice in a perennial snow patch. *Ann. of Glaciol.* 1993. No. 18. P. 117–122.
13. *Kuhn M.* The mass balance of very small glaciers. *Zeitschrift fur Gletscherrunde und Glazialgeologie*. 1995. Band 31. P. 171–179.

14. *Marshall G.J., Vignols R.M., Rees W.G.* Climate Change in the Kola Peninsula, Arctic Russia, during the Last 50 Years from Meteorological Observations. *Americ. Meteorol. Society*. 2016. V. 29. P. 6823–6840. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0179.1.
15. *Shilovtseva O.A., Kononova N.K., Romanenko F.A.* Climate Change in the Arctic Regions of Russia. *Climate change adaptation: ecology, mitigation and management*. New York: Nova Science Publishers, 2011. P. 35–63.
16. *Vikulina M., Vashchalova T., Tutubalina O., Rees W., Zaika Y.* Moscow University's field station in the Khibiny Mountains, Russian Arctic: A 70-year history to the present day. *Polar Record*. Cambridge University Press, 2021. No. 57. P. 1–12. DOI: 10.1017/S0032247421000012.

REFERENCES

1. *Ananicheva M.D.* Estimation of the areas, volumes and heights of the recharge boundary of the glacial systems of the North-East of Russia based on satellite images of the beginning of the XXI century. *Ice and Snow*. 2014. No. 1. P. 35–47. (In Russian).
2. *Glazyrin G.E.* Regime of existence of old snow patches – almost glaciers. 34 Selected Papers on Main Ideas of the Soviet Glaciology, 1940s–1980s. Moscow, 1997. P. 314–321.
3. *Debeer C.M., Sharp M.J.* Topographic influences on recent changes of very small glaciers in the Monashee Mountains, British Columbia, Canada. *Journ. of Glaciology*. 2009. No. 192. P. 691–700. DOI:10.3189/002214309789470851.
4. *Kawashima K., Yamada T., and Wakahama G.* Investigations of internal structure and transformational processes from firn to ice in a perennial snow patch. *Ann. of Glaciol.* 1993. No. 18. P. 117–122.
5. *Kovalenko N.V.* Regime and Evolution of Small Forms of Glaciation. Moscow: MAKS PRESS, 2011. 240 p. (In Russian).
6. *Kuhn M.* The mass balance of very small glaciers. *Zeitschrift fur Gletscherrunde und Glazialgeologie*. 1995. No. 31. P. 171–179.
7. *Marshall G.J., Vignols R.M., and Rees W.G.* Climate Change in the Kola Peninsula, Arctic Russia, during the Last 50 Years from Meteorological Observations. *Americ. Meteorol. Society*. 2016. No. 29. P. 6823–6840. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0179.1.
8. *Nosenko G.A., Muraviev A.Ya., Ivanov M.N., Sinizkiy A.I., Kobelev V.O., and Nikitin S.A.* The response of the glaciers of the Polar Urals to modern climate changes. *Ice and Snow*. 2020. No. 1. P. 42–57. (In Russian).
9. *Sarana V.A.* Very small glaciers of the Russian sector of the Arctic and Subarctic. *Moscow University Bulletin. Geography. Is. 5*. 2012. No. 2. P. 82–87. (In Russian).
10. *Perov V.F.* Snowfields, glaciers and permafrost relief of the Khibiny mountains. Moscow: Nauka, 1968. 120 p. (In Russian).
11. *Shilovtseva O.A., Kononova N.K., and Romanenko F.A.* Climate Change in the Arctic Regions of Russia. *Climate change adaptation: ecology, mitigation and management*. New York: Nova Science Publishers, 2011. P. 35–63.
12. *USSR Glacier Inventory*. V. 1. Pt. 1. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966. P. 45–51. (In Russian).
13. *Vikulina M.A.* The use of geographic information systems for the study of snow-nival phenomena. *Data of Glaciological Studies*. 2008. No. 105. P. 120–124. (In Russian).
14. *Vikulina M.A., Vashchalova T.V., Tutubalina O.V., Rees W.G., and Zaika Y.V.* Moscow University's field station in the Khibiny Mountains, Russian Arctic: A 70-year history to the present day. *Polar Record*. Cambridge University Press, 2021. No. 57. P. 1–12. DOI: 10.1017/S0032247421000012.
15. *Zaika Yu.V., Vikulina M.A., and Chernous P.A.* Long-term dynamics of nival processes in the Khibiny mountains. *Ice and Snow*. 2012. No. 1. P. 69–74. (In Russian).
16. *Zyuzin J.L.* The severe face of Khibin. Murmansk: Advertising polygraphy, 2006. 236 p. (In Russian).