

Геоинформатика. 2025. № 2. С. 34–41.
Geoinformatika. 2025;(2):34–41.

Геоэкология

Научная статья
 УДК 551.324
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2025-2-34-41>

Картографирование динамики ледников острова Большевик (Северная Земля) по космическим снимкам

© 2025 г. — Артем Евгеньевич Пшеничников

Тюменский государственный университет; Тюмень, Россия
 a.e.pshenichnikov@utmn.ru

Аннотация: В статье представлены данные о состоянии ледников о-ва Большевик (архипелаг Северная Земля) в 2020 г. Оценки изменения площади, полученные за период 1953–2020 гг., основаны на анализе разновременных космических снимков и данных Каталога ледников СССР. Изменения площади оледенения анализировались за следующие пять периодов: 1953–1973 гг., 1973–1985 гг., 1985–1996 гг., 1996–2010 гг. и 2010–2020 гг. С 1953 по 2020 г. площадь ледников уменьшилась с 3454,1 до 2557,37 км², т. е. на 896,73 км² (25,96 %). Деградация оледенения составила в 1953–1973 гг. 538,82 км², в 1973–1985 гг. — 169,1 км², в 1996–2010 гг. — 65,49 км², в 2010–2020 гг. 175,4 км². С 1985 по 1996 г. был незначительный прирост в 52,08 км². Больше всего сократились малые ледники (Касаткина, Куполовидный, Иркутский) — потери площади более 78%, а меньше всего — крупные ледники (Ленинградский, Кропоткина, Мушкетова) — потеря в среднем 21–24 %. Максимальная средняя скорость сокращения площади зафиксирована с 1953 по 1973 г. 0,78 %/год. В следующий период было отмечено незначительное снижение темпов деградации оледенения (0,48 %/год), а с 1985 по 1996 г. было увеличение площади ледников со скоростью 0,17 %/год. Начавшееся в период с 1996 по 2010 г. со скоростью 0,17 %/год сокращение оледенения в последний исследуемый период с 2010 по 2020 г. резко (почти в 3,8 раза) выросло и достигло среднего значения 0,64 %/год. При этом у ледника Касаткина это значение составило 6,75 %/год. Сокращение ледников происходит на фоне постепенного роста среднегодовой температуры (примерно 5 °C за последние 30 лет). С 1998 г. наблюдается стабильный рост значения средней летней температуры (2,8 °C в 2020 г.). Кроме того, интенсивная деградация ледников о-ва Большевик может быть связана с тем, что с 2010 г. отмечается постепенный рост суммы положительных температур. При среднем значении за весь период исследования 118,5 °C в 2020 г. отмечена аномально высокая сумма, составившая 429,4 °C.

Ключевые слова: Северная Земля; ледники; площадь оледенения; колебания сумм осадков; колебания температуры; космические снимки.

Для цитирования: Пшеничников А.Е. Картографирование динамики ледников острова Большевик (Северная Земля) по космическим снимкам // Геоинформатика. — 2025. — № 2. — С. 34–41. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2025-2-34-41>.

Geoecology

Original article

Mapping of glacier dynamics of Bolshevik island (Severnaya Zemlya) by space images

© 2025 — Artem E. Pshenichnikov

University of Tyumen; Tyumen, Russia
 a.e.pshenichnikov@utmn.ru

Abstract: The following work represents data on the state of the of Bolshevik Island glaciers (Severnaya Zemlya archipelago) in 2020. Estimates of area changes obtained for the period 1953–2020 are based on the analysis of multi-temporal space images and data from the USSR Glacier Catalog. Changes in glaciation area were analyzed over the following five periods: 1953–1973, 1973–1985, 1985–1996, 1996–2010 and 2010–2020. From 1953 to 2020 it decreased from 3454.1 to 2557.37 square kilometers, i.e. by 896.73 square kilometers (25.96 %). The glaciation degradation amounted to 538.82 square kilometers in 1953–1973, 169.1 square kilometers in 1973–1985, 65.49 square kilometers in 1996–2010, 175.4 square kilometers in 2010–2020. A slight increase of 52.08 square kilometers was noted from 1985 to 1996. The biggest decrease was fixed among small glaciers (Kasatkin, Kupolovidnyy, Irkutskiy) — area losses of more than 78 %, and the least — among large glaciers (Leningradskiy, Kropotkin, Musketov) — the average loss of 21–24 %. The maximum average rate of area reduction was recorded from 1953 to 1973 at the amount of 0.78 % a year.

In the following period, a slight decrease in the rate of glacier degradation was noted (0.48 % a year) and from 1985 to 1996 there was an increase of glacier area at a rate of 0.17 % a year. The reduction in glaciation, which began between 1996 and 2010 at a rate of 0.17 %/year, sharply increased (almost 3.8 times) in the last studied period from 2010 to 2020 and reached an average value of 0.64 %/year. At the same time this value for Kasatkin glacier (the maximum among all glaciers) was 6.75 % a year. The decline of glaciers occurs against the background of a gradual increase in the average annual temperature (approximately 5 °C over the past 30 years). Since 1998 a stable increase in the average summer temperature (+ 2.8 °C in 2020) has been fixed. In

addition the intensive degradation of the island's glaciers may be connected with the fact that since 2010 a gradual increase in the sum of positive temperatures has been noted. With an average value of 118.5 °C for the entire study period, an abnormally high total of 429.4 °C was noted in 2020.

Key words: *Severnaya Zemlya; glaciers; glaciation area; fluctuations of precipitation; temperature fluctuations; space images.*

For citation: Pshenichnikov A.E. Mapping of glacier dynamics of Bolshevik island (Severnaya Zemlya) by space images. *Geoinformatika*. 2025;(2):34–41. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2025-2-34-41>. In Russ.

Введение

В последнее время изучению состояния ледников во всем мире уделяется много внимания. Это связано в первую очередь с проблемой глобального потепления климата и необходимостью мониторинга состояния ледников, контроля их возможной деградации, так как помимо того, что они являются индикаторами климатических изменений, они представляют собой резервуары пресной воды.

Архипелаг Северная Земля был открыт гидрографической экспедицией под руководством Б.А. Вилькицкого в 1913 г. [1], а первые исследования начались только в 1930 г. во время экспедиции Г.А. Ушакова и Н.Н. Урванцева. Первые же гляциологические исследования, в ходе которых была определена площадь оледенения, проведена классификация ледников, были выполнены Н.Г. Загорской в ходе экспедиции Научно-исследовательского института геологии Арктики [1].

В 1980 г. вышел Каталог ледников СССР [3] с данными ледников архипелага Северная Земля, в основных таблицах которого помещены морфометрические данные, полученные по материалам 1950–1953 гг. Всего на о-ве Большевик по данным Каталога [3] находилось 137 ледников, занимавших суммарную площадь 3509,1 км².

Данные о ледниках архипелага можно найти на сайте Международного проекта «Глобальные измерения наземного льда из космоса» (<https://www.glims.org/>) и Всемирного каталога ледников RGI (The Randolph Glacier Inventory) (<https://www.glims.org/RGI/index.html>). Современное состояние оледенения можно оценить, используя новый Каталог ледников, созданный в Институте географии РАН. Этот Каталог аккумулирует результаты анализа снимков Sentinel-2, полученных в основном в 2016–2019 гг., и представляет собой информационную основу для дальнейшего исследования ледниковых районов России [8].

В данной работе не ставилась задача провести детальный и полный обзор литературы, посвященной изучаемой проблематике. Основная задача исследования — инвентаризационная: необходимо выявить и закартографировать изменения, произошедшие с ледниками с 1953 по 2020 г., с тем, чтобы в дальнейшем совместно с гляциологами, мерзлотоведами и климатологами выполнить анализ процессов, вызвавших эти изменения, и выяснить, насколько они связаны с глобальным потеплением климата.

Территория работ

Для исследования динамики оледенения Северной Земли был выбран о-в Большевик — второй после о-ва Октябрьской Революции по площади из всех островов архипелага (рис. 1). При площади 11 312 км² он занимает треть территории архипелага. Крайние точки: мыс Песчаный (79° 25' с.ш.), мыс Неупокоева (77° 55' с.ш.), мыс Гусиный Нос (99° 23' в.д.), мыс Морозова (105° 27' в.д.). Максимальная отметка — 859 м (купол ледника Ленинградский). Поверхность острова, представляющая собой сильно пересеченную местность, имеет общий наклон с севера на юг, обусловленный тектоническими деформациями [1]. Для острова по данным наблюдений температур и осадков на ГМО им. Е.К. Федорова за почти 70-летний период характерна низкая среднегодовая температура воздуха –14,4° С, годовое количество осадков 236,5 мм/год.

Материалы и методы

В качестве источника информации о состоянии ледников использованы следующие космические снимки Landsat (сайт геологической службы США <https://earthexplorer.usgs.gov/>): 1) Landsat 1 от 25.07.1973 г. с пространственным разрешением 60 м; 2) Landsat 5 от 17.08.1985 г. и 10.08.1996 г. с пространственным разрешением 30 м; 3) Landsat 7 от 11.07.2010 г. с пространственным разрешением 30 м; 4) Landsat 8 от 15.08.2020 г. с пространственным разрешением 30 м.

Дешифрирование границ ледников проводилось вручную в геоинформационной системе QGIS. Все космические снимки были приведены в проекцию UTM (зона 47N) на эллипсоиде WGS84. Полученные в результате оцифровки границы ледников за период с 1973 по 2020 г. позволили оценить динамику (количество и площадь) ледников о-ва Большевик.

Данные о площади ледников за исходный период (1953 г.) взяты из Каталога ледников СССР [3].

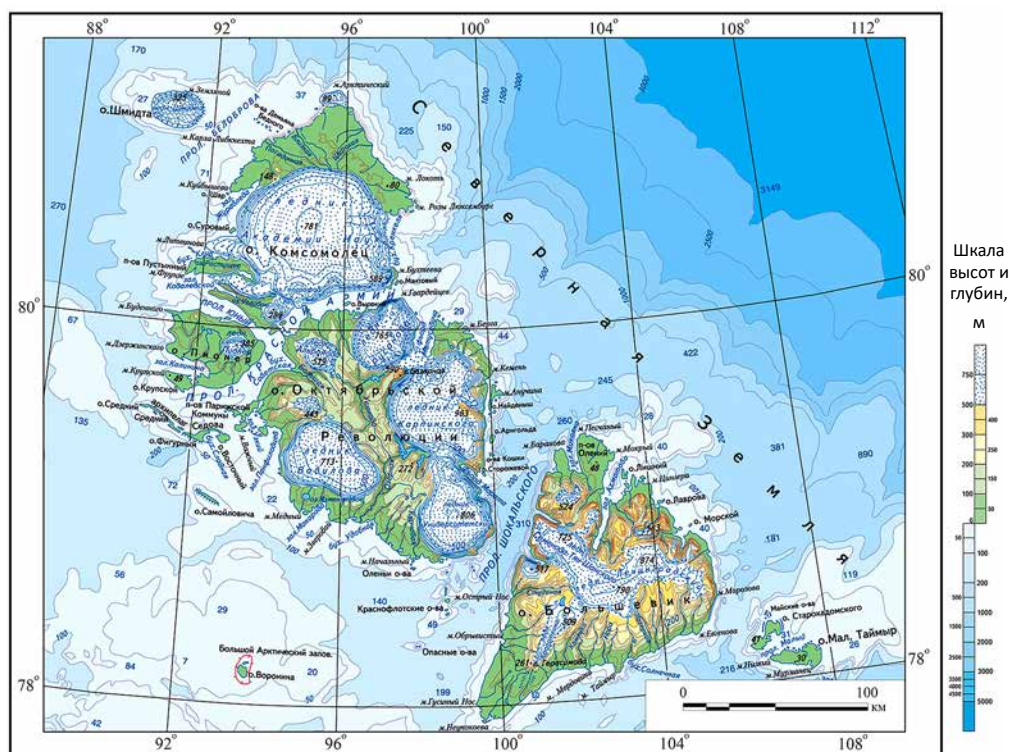
Для анализа изменений климатических условий использовались ряды наблюдений температур и осадков с 1952 г. ГМО им. Е.К. Федорова (ранее — мыс Челюскина).

Результаты исследования

По Каталогу ледников СССР [3] на ледники о-ва Большевик приходилось 3509 км², ледники всего архипелага занимали 18 326,1 км². Согласно [8], по результатам дешифрирования космических сним-

Рис. 1. Местоположение района исследования

Fig. 1. Location of the study area



ков Sentinel-2 на август 2019 г. и июль 2020 г. общая площадь ледников Северной Земли составила $16\,775 \pm 85 \text{ км}^2$. Площадь уменьшилась на $1551,2 \text{ км}^2$, или 8,46 %. Динамика изменений, произошедших с ледниками о-ва Большевик, отображена в табл. 1. Нумерация в табл. 1 и на рис. 2 дана в алфавитном порядке. Для уточнения названия ледника помимо Каталога ледников была использована база данных GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space) [10].

Необходимо отметить, что ледник Ленинградский рассматривается вместе с ледниками Семенова Тянь-Шанского и Федченко без разграничения на три разных объекта. Кроме того, в исследовании не учитывались ледники горного типа (номера 105–137 в Каталоге ледников СССР), так как упор делался на основные ледники.

Для определения максимальной и минимальной отметок, высотного распределения площади ледника была использована мозаика цифровой модели рельефа ArcticDEM v3.0 [11] с пространственным разрешением 2 м, созданная из 9 сцен.

Ледник Ленинградский. Максимальная отметка — 859 м, минимальная — 0 м. Более половины всей площади массива приходится на высоты от 500 до 800 м (62,3 %): 500–600 м — 19,2 %, 600–700 м — 25,0 %, 700–800 м — 18,1 %. Если проводить горизонталь через 50 м, то преобладающие уровни будут

следующие: 600–650 м — 12,2 %, 650–700 м — 12,7 %, 700–750 м — 11,2 %.

Ледник Кропоткина. Максимальная отметка — 528 м, минимальная — 142 м. Чуть менее половины (43,9 %) площади ледника расположено на высоте от 300 до 400 м: 300–350 м — 22,7 %, 350–400 м — 21,2 %.

Ледник Грофов. Максимальная отметка — 513 м, минимальная — 0 м. Значительная часть ледника находится между отметками 200–400 м: 200–300 м — 34,7 %, 300–400 м — 34,2 %. При более детальном делении получаем следующие результаты: 250–300 м — 22,6 %, 300–350 м — 18,5 %.

Ледник Мушкетова. Максимальная отметка — 559 м, минимальная — 155 м. Почти три четверти массива (72,8 %) — это высотный уровень от 300 до 500 м. Из них 22,2 % приходится на высоты 400–450 м, 20,9 % — на 350–400 м.

Ледник Войцеховского состоит из двух основных массивов: назовем их условно северный и южный. Северный массив: максимальная отметка — 524 м, минимальная — 125 м. 50,7 % площади ледника занимает промежуток между отметками в 400 и 500 м. 25,9 % приходится на уровень 450–500 м, 24,8 % — 400–450 м. Южный массив: максимальная отметка — 489 м, минимальная — 115 м. В отличие от северного массива, процентное распределение площадей выглядит иначе: 350–400 м — 36,5 % (в северном массиве 19,8 %), 400–450 м — 31,3 %, 450–489 м — 15,0 %.

Табл. 1. Изменение площади поверхности ледников о-ва Большевик за 1950-2020 гг.

Tab. 1. Change in the surface area of glaciers on Bolshevik Island for 1950-2020

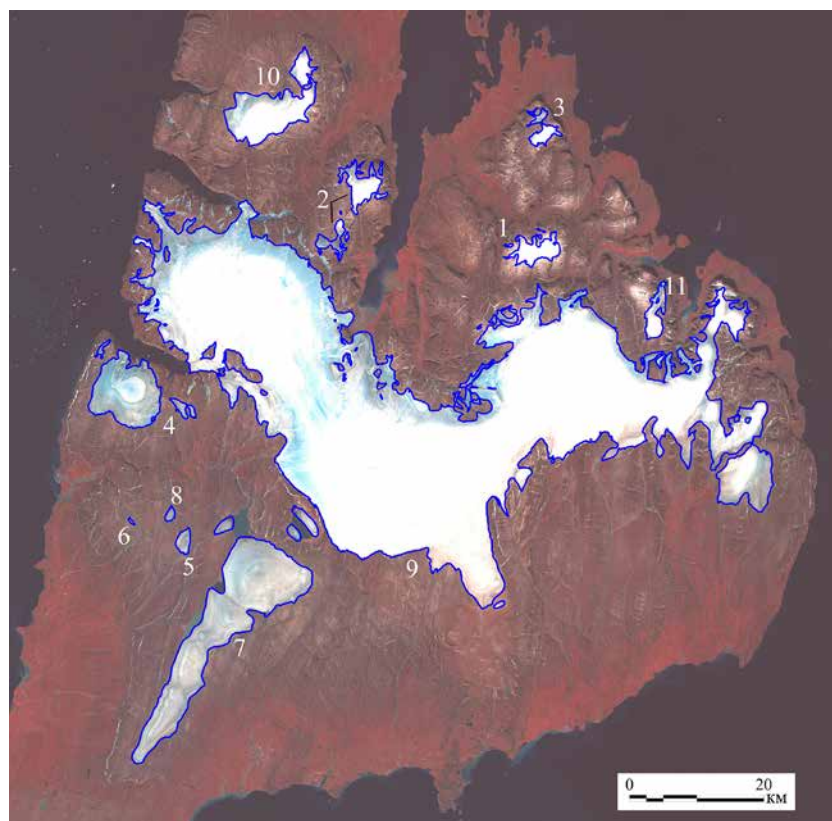
№	Ледник	Год (изменение по сравнению с предыдущим годом, %)						Изменение площади за 1953–2020 гг., км ² (%)
		1953	1973	1985	1996	2010	2020	
1	Аэрофотосъемки	28,7	24,28 (-15,40)	22,43 (-7,62)	23,6 (+5,22)	22,75 (-3,60)	20,62 (-9,36)	-8,08 (-28,15)
2	Войцеховского	66,5	50,77 (-23,65)	41,88 (-17,51)	43,6 (+4,11)	40,75 (-6,54)	32,72 (-19,71)	-33,78 (-50,80)
3	Гастелло	23,9	14,73 (-38,37)	13,16 (-10,66)	13,61 (+3,42)	13,02 (-4,34)	10,58 (-18,74)	-13,32 (-55,73)
4	Гротов	143,0	113,55 (-20,59)	103,39 (-8,95)	104,45 (+1,03)	98,72 (-5,49)	88,74 (-10,11)	-54,26 (-37,94)
5	Иркутский	28,0	13,76 (-50,86)	12,5 (-9,16)	11,95 (-4,40)	8,36 (-30,04)	5,95 (-28,83)	-22,05 (-78,75)
6	Касаткина	10,7	2,57 (-75,98)	2,25 (-12,45)	2,31 (+2,67)	1,2 (-48,05)	0,39 (-67,50)	-10,31 (-96,36)
7	Кропоткина	400,1	331,05 (-17,26)	284,37 (-14,10)	283,22 (-0,40)	267,49 (-5,55)	243,82 (-8,89)	-87,23 (-26,35)
8	Куполовидный	10,8	5,94 (-45,00)	5,43 (-8,59)	4,66 (-14,18)	3,12 (-33,05)	2,11 (-32,37)	-8,69 (-80,46)
9	Ленинградский	2603,9	2237,34 (-14,08)	2156,29 (-3,62)	2204,35 (+2,23)	2171,05 (-1,51)	2055,55 (-5,32)	-548,35 (-21,06)
10	Мушкетова	108,6	94,13 (-13,32)	86,48 (-8,13)	88,06 (+1,83)	87,66 (-0,45)	81,67 (-6,83)	-26,93 (-24,80)
11	Неудач	29,9	27,16 (-9,16)	18,00 (-33,73)	18,45 (+2,50)	18,65 (+1,05)	15,22 (-18,39)	-14,68 (-49,10)
	Общая площадь	3454,1	2915,28 (-15,60)	2746,18 (-5,80)	2798,26 (+1,90)	2732,77 (-2,34)	2557,37 (-6,42)	-896,73 (-25,96)

Рис. 2. Ледники о-ва Большевик (синяя линия — граница ледника на 15.08.2020 г.)

Fig. 2. The glaciers of Bolshevik Island (the blue line is the border of the glacier on 15.08.2020)

Ледники: 1 — Аэрофотосъемки, 2 — Войцеховского, 3 — Гастелло, 4 — Гротов, 5 — Иркутский, 6 — Касаткина, 7 — Кропоткина, 8 — Куполовидный, 9 — Ленинградский (вместе с ледниками Семенова Тянь-Шанского и Федченко), 10 — Мушкетова, 11 — Неудач

Glaciers: 1 — Aerofotos'yemki, 2 — Voytsekhovskiy, 3 — Gastello, 4 — Grotov, 5 — Irkutskiy, 6 — Kasatkin, 7 — Kropotkin, 8 — Kupolovidnyy, 9 — Leningradskiy (together with the glaciers of Semenov Tyan-Shansky and Fedchenko), 10 — Mushketov, 11 — Neudach



Ледник Аэрофотосъемки. Максимальная отметка — 586 м, минимальная — 233 м. Большая часть площади ледника (58,1 %) приходится на верхний высотный уровень 500–586 м, из которых 34,6 % занимает диапазон от 500 до 550 м. Если добавить высотный диапазон 400–500 м, то эти два уровня (400–586 м) займут 90,6 % площади ледника.

Похожая ситуация с ледником *Неудач.* Максимальная отметка — 566 м, минимальная — 72 м. Треть ледника (35,5 %) — верхний высотный уровень — 500–566 м. При включении сюда высот от 400 до 500 м значение занимаемой площади увеличивается до 65,9 %.

Ледник Гастелло. Как и в случае с ледником Войцеховского рассмотрим два массива: северный и южный. Северный массив: максимальная отметка — 376 м, минимальная — 98 м. Основная часть находится в диапазоне 200–300 м, при этом значительная часть (62,2 %) — это уровень 250–300 м. Южный массив: максимальная отметка — 456 м, минимальная — 110 м. В отличие от северного участка здесь преобладает высотный уровень 350–450 м, на который приходится 69,5 % (350–400 м — 34,6 %, 400–450 м — 34,9 %).

Ледник Иркутский. Максимальная отметка — 349 м, минимальная — 262 м. Практически весь ледник (87,9 %) расположен выше отметки в 300 м. Если рассматривать высотные уровни более подробно, то основное распределение площади по высотам выглядит следующим образом: 300–320 м — 26,5 %, 320–340 м — 40,2 м, 340–349 м — 21,2 %.

Ледник Куполовидный. Максимальная отметка — 304 м, минимальная — 226 м. 39,3 % территории занимает уровень от 280 до 300 м, далее идет диапазон от 260 до 280 м — 25,6 %.

Ледник Касаткина. Максимальная отметка — 251 м, минимальная — 220 м. 46,1 % площади приходится на высотный уровень 230–240 м, 43,6 % на уровень 240–250 м.

Общая потеря площади ледниковой поверхности основных ледников острова за почти 70 лет с 1953 по 2020 г. составила 896,73 км², или 25,96 %, что больше в процентном соотношении, чем по всему архипелагу (8,46 %). Максимальное сокращение ледников зафиксировано в первом временном срезе: 1953–1973 гг. В 1996 г. сокращение изменилось на небольшой рост площади: максимальный прирост в относительном соотношении зафиксирован для ледника Аэрофотосъемки (+5,22 %), в абсолютном — для ледника Ленинградский (+48,06 км²). К настоящему времени идет постепенное ускорение сокращения оледенения.

В исследуемый период наибольшее снижение площади в процентном отношении зафиксировано для ледника Касаткина — 96,36 %. Его площадь на август 2020 г. составила всего 0,39 км² против 10,7 км² в 1953 г. При дальнейшем сохранении отрицательной динамики следует ожидать исчезновения этого

ледника в ближайшие 10–15 лет. Территориально находящиеся рядом ледники Куполовидный и Иркутский расположились на втором и третьем местах по снижению площади по сравнению с начальным годом (80,46 и 78,75 % соответственно). Этим двум ледникам в отличие от всех остальных рассматриваемых в исследовании ледников свойственно незначительное замедление скорости изменения площади в 2020 г. по сравнению с 2010 г. Кроме того, ледники Иркутский и Куполовидный испытали в 1996 г. снижение площади покрова, в то время как для остальных ледников было типично увеличение площади. Для ледника Кропоткина в 1996 г. также зафиксировано уменьшение площади, но всего на 0,4 % по сравнению с предыдущим 1985 г., что можно расценивать как стабильное состояние. Пример изменения площади ледников можно увидеть на рис. 3.

Максимальная потеря в километрах среди всех рассматриваемых ледников зафиксирована для ледника Ленинградский — с 1953 по 2020 г. площадь сократилась на 548,35 км². В процентном соотношении это минимальная потеря среди всех ледников острова (21,06 %). Возможно в ближайшее время следует ожидать отделения от основного ледника крупного массива в восточной части ледника (№ 59 по Каталогу ледников СССР). Для ледника Гастелло такая ситуация уже наступила: еще в 2010 г. ледник состоял из двух соединенных узкой перемычкой частей. На снимке Sentinel от 19 августа 2020 г. видно, что ледник распался на два отдельных массива (между северной и южной частями ледника появилась свободная ото льда полоса шириной примерно 30 м).

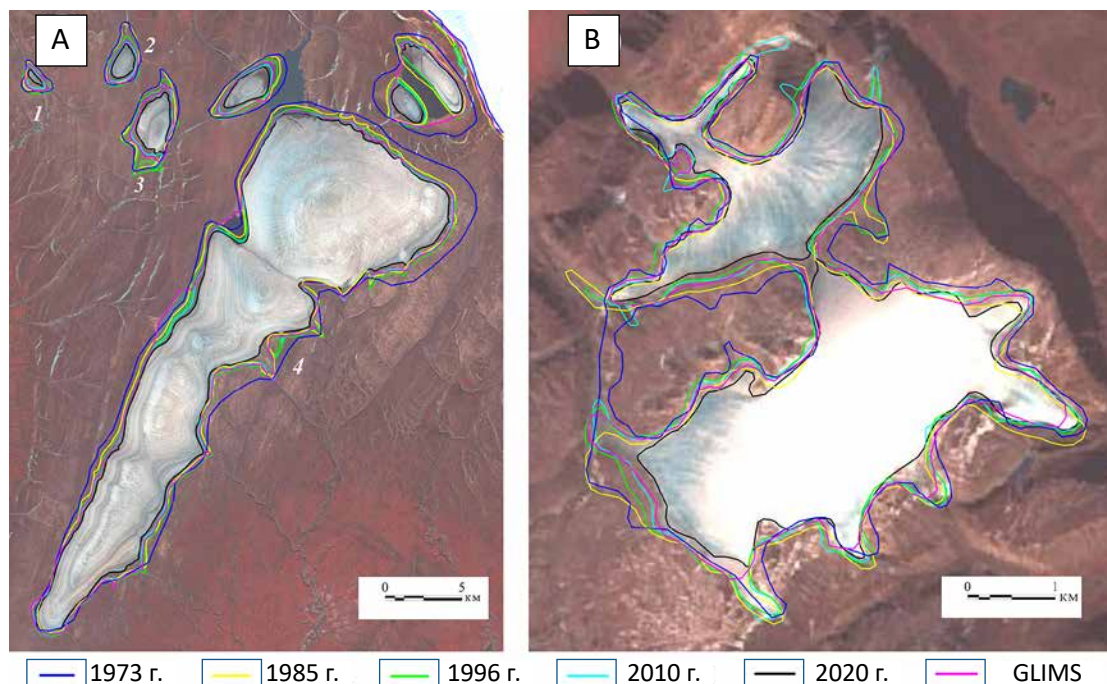
При сравнении среднегодовой скорости сокращения рассматриваемых ледников о-ва Большевик (табл. 2) можно сделать вывод, что максимальные скорости наблюдались в период с 1953 по 1973 г. и с 2010 по 2020 г. — 26,94 и 17,54 км²/год соответственно; в процентном отношении 0,78 и 0,64 % в год. С 1985 по 1996 г. происходил рост ледников со скоростью 4,73 км²/год (0,17 %), а с 1996 по 2010 г. опять шло уменьшение площади со скоростью 4,68 км²/год (0,17 %).

Максимальная скорость изменения площади наблюдается у ледников с минимальной суммарной площадью ледникового покрова. Скорее всего, это объясняется тем, что в силу своего малого размера эти ледники быстрее откликаются на изменения климатических условий. Прилегающая территория в силу своей большей по сравнению с ледником площади летом при одинаковом нагреве на маленький ледник влияет сильнее чем на большой.

Полученные данные можно сравнить с данными, указанными в работах [2, 4–7, 9, 12]. Общая (для всех ледников острова) скорость сокращения в последнее десятилетие (0,64 % в год) немного меньше скорости сокращения ледников Казахстана (0,68 %)

Рис. 3. Примеры изменения границ ледников с 1973 по 2020 г.

Fig. 3. Examples of change of the boundaries of glaciers from 1973 to 2020



A: 1 — Касаткина, 2 — Куполовидный, 3 — Иркутский, 4 — Кропоткина; B: Гастелло

A: 1 — Kasatkin, 2 — Kupolovidnyy, 3 — Irkutskiy, 4 — Kropotkin; B: Gastello

Табл. 2. Скорость изменения площади ледников в исследуемые периоды, %

Tab. 2. Rate of change of glacier area in the studied periods, %

Ледник	Годы				
	1953–1973	1973–1985	1985–1996	1996–2010	2010–2020
Аэрофотосъемки	-0,77	-0,64	0,47	-0,26	-0,94
Войцеховского	-1,18	-1,46	0,37	-0,47	-1,97
Гастелло	-1,92	-0,89	0,31	-0,31	-1,87
Готов	-1,03	-0,75	0,09	-0,39	-1,01
Иркутский	-2,54	-0,76	-0,40	-2,15	-2,88
Касаткина	-3,80	-1,04	0,24	-3,43	-6,75
Кропоткина	-0,86	-1,18	-0,04	-0,40	-0,89
Куполовидный	-2,25	-0,72	-1,29	-2,36	-3,24
Ленинградский	-0,70	-0,30	0,20	-0,11	-0,53
Мушкетова	-0,67	-0,68	0,17	-0,03	-0,68
Неудач	-0,46	-2,81	0,23	0,08	-1,84
Все ледники	-0,78	-0,48	0,17	-0,17	-0,64

[2], Кавказа (0,69 %) [12], ледника Сары-Тор в массиве Ак-Шыйрак (0,67 %) [7] и значительно уступает скорости сокращения ледников северной части Среднего хребта на Камчатке (1,45 %) [4], западной части Земли Норденшельда (1,67 %) [9], Полярного Урала (1,54 %) [6] и хребта Улахан-Чистай в горной системе Черского (2,04 %) [5].

По данным ГМО им. Е.К. Федорова, с 1990-х гг. начался рост среднегодовой температуры (рис. 4): за почти 30-летний период значение изменилось приблизительно на 5 °С. Кроме того, отмечается увеличение средней летней температуры и суммы положительных температур.

Средняя 6-летняя скользящая средняя летней температуры с 1964 по 1997 г. варьировала в районе

0 °С. Начиная с 1998 г. наблюдается стабильный рост значения летней температуры, которая в 2020 г. достигла величины +2,8 °С. Кроме того, с 2010 г. отмечается постепенный рост суммы положительных температур. При среднем значении за весь период исследования 118,5 °С в 2020 г. отмечена аномально высокая сумма, составившая 429,4 °С.

Выводы

Полученные данные показывают, что практически все 70 лет (период исследования) размеры ледников уменьшались. Правда, скорость сокращения была разной: от -0,78 до 0,17 % в год. Промежутком с 1956 по 1996 г., когда был зафиксирован рост ледников, необходимо более тщательно проанализировать с целью выявления причины роста. Примерно с 2010 г. скорость деградации ледников непрерывно возрастает (17,54 км²/год, или 0,64 % в год), что, наряду с ростом значений температур

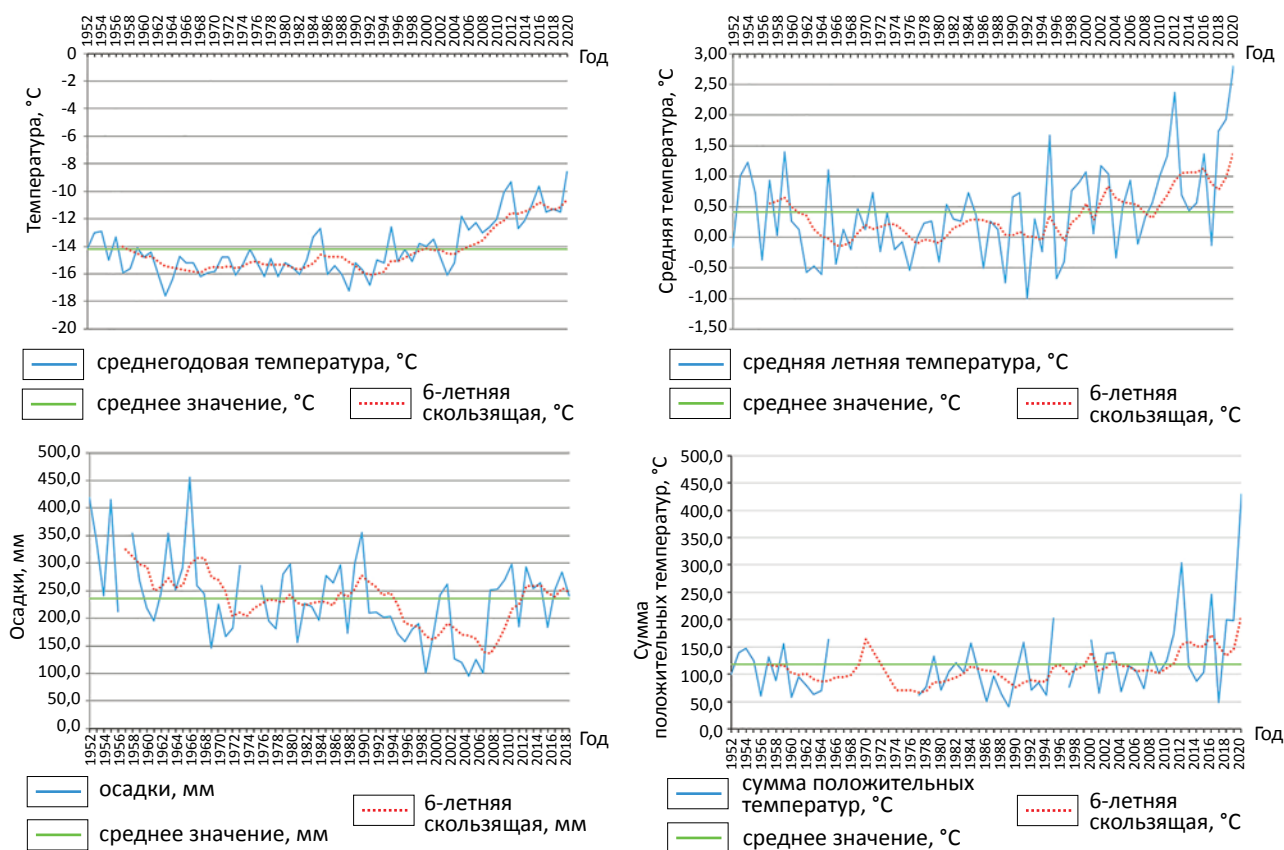
(среднегодовая, летняя, сумма положительных) вызывает серьезные опасения в сохранности ледникового покрова. Особенно это касается небольших ледников (Касаткина, Куполовидный, Иркутский), которые претерпели наибольшие изменения (потери площади более 78 %).

Сохранение современной тенденции деградации оледенения о-ва Большевик в ближайшие годы (10–15 лет) приведет к дальнейшему сокращению ледников и ледниковых комплексов (как площади, так и объемов) и их распаду.

Необходимо исследование с целью подсчета объема ледников и оценки возможной потери запасов. Кроме того, интерес представляет вопрос основной причины снижения объемов: за счет понижения высоты поверхности основного массива ледника или за счет изменений краевых частей ледников.

Рис. 4. Графики хода среднегодовой температуры, суммы осадков, средней летней температуры и суммы положительных температур за период с 1952 по 2020 г.

Fig. 4. Graphs of the course of the average annual temperature, the amount of precipitation, the average summer temperature and the sum of positive temperatures for the period 1952-2020



Список источников

1. *Большаинов Д.Ю., Макеев В.М.* Архипелаг Северная Земля. Оледенение, история развития природной среды. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1995. – 217 с.
2. *Вилесов Е.Н.* Изменение размеров и состояния ледников Казахстана за 60 лет (1955–2015 гг.) // *Лёд и снег.* – 2018. – Т. 58. – № 2. – С. 159–170. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-2-159-170.
3. *Ресурсы поверхностных вод СССР: Каталог ледников СССР.* Т. 16: Ангаро-Енисейский Район. Вып. 1. Енисей. Ч. 1. Северная Земля / Л.С. Говоруха и др. – М.: Гидрометеоиздат, 1980. – С. 1–50.

4. *Муравьев А.Я.* Сокращение ледников северной части Срединного хребта на Камчатке в период с 1950 по 2016–2017 гг. // *Лёд и снег.* – 2020. – Т. 60. – № 4. – С. 498–512. DOI: 10.31857/S2076673420040055.
5. *Муравьев А.Я., Носенко Г.А.* Сокращение оледенения хребта Улахан-Чистай (горы Черского) в 1970–2018 гг. // *Лёд и снег.* – 2022. – Т. 62. – № 2. – С. 179–192. DOI: 10.31857/S2076673422020124.
6. *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. – Т. 60. – № 1. – С. 42–57. DOI: 10.31857/S2076673420010022.
7. *Петраков Д.А., Лаврентьев И.И., Коваленко Н.В., Усубалиев Р.А.* Толщина льда, объем и современные изменения площади ледника Сары-Тор (массив Ак-Шийрак, внутренний Тянь-Шань) // *Криосфера Земли.* – 2014. – Т. 18. – № 3. – С. 91–100.
8. *Хромова Т.Е., Носенко Г.А., Глазовский А.Ф., Муравьев А.Я., Никитин С.А., Лаврентьев И.И.* Новый Каталог ледников России по спутниковым данным (2016–2019 гг.) // *Лёд и снег.* – 2021. – Т. 61. – № 3. – С. 341–358. DOI: 10.31857/S2076673421030093.
9. *Чернов Р.А., Муравьев А.Я.* Современные изменения площади ледников западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) // *Лёд и снег.* – 2018. – Т. 58. – № 4. – С. 462–472. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-4-462-472.
10. *GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.glims.org/maps/glims> (дата обращения 13.03.2025).
11. *ArcticDEM* [Электронный ресурс] / Harvard Dataverse, V1; Porter C. et al. – 2018. – Режим доступа: <https://doi.org/10.7910/DVN/ОННУКН> (дата обращения 13.08.2024 г.). Архив данных от 12.07.2018–10.08.2018.
12. *Tielidze L.G., Wheate R.D.* The Greater Caucasus Glacier Inventory (Russia, Georgia and Azerbaijan) // *The Cryosphere.* – 2018. – Vol. 12. – Iss. 1. – P. 81–94. DOI: 10.5194/tc-12-81-2018.

References

1. *Bol'shiyanov D.Yu., Makeev V.M.* Arhipelag Severnaya Zemlya. Oledenie, istoriya razvitiya prirodnoi sredy [The Severnaya Zemlya Archipelago: Glaciation and the History of Natural Environment]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat; 1995: 215 p.
2. *Vilesov E.N.* Changes in the size and condition of the glaciers in Kazakhstan for the last 60 years (1955–2015). *Ice and Snow.* 2018;58(2):159-170. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-2-159-170.
3. *Govorukha L.S. et al.* Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Katalog lednikov SSSR. T. 16: Angaro-Eniseiskii Raion. Vyp. 1. Enisei. Ch. 1. Severnaya Zemlya [Surface water resources of the USSR: Catalogue of glaciers of the USSR. Vol. 16: Angara-Yenisei Region. Iss. 1. Yenisei. Pt. 1. Severnaya Zemlya]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1980. pp. 1–50.
4. *Muraviev A.Ya.* Degradation of glaciers in the northern part of the Middle Range on Kamchatka Peninsula along the period from 1950 over 2016–2017. *Ice and Snow.* 2020;60(4):498–512. DOI: 10.31857/S2076673420040055.
5. *Muraviev A.Ya., Nosenko G.A.* Reduction of glaciers in the Ulakhan-Chistay Range (Chersky Mountains) from 1970 to 2018. *Ice and Snow.* 2022;62(2):179–192. DOI: 10.31857/S2076673422020124.
6. *Nosenko G.A., Muraviev A.Ya., Ivanov M.N., Sinitsky A.I., Kobleev V.O., Nikitin S.A.* Response of the Polar Urals glaciers to the modern climate changes. *Ice and Snow.* 2020;60(1):42–57. DOI: 10.31857/S2076673420010022.
7. *Petrakov D.A., Lavrentiev I.I., Kovalenko N.V., Usubaliyev R.A.* Ice thickness, volume and modern changes of area of the Sary-Tor Glacier (Ak-Shyirak massif, Inner Tien Shan). *Kriosfera Zemli.* 2014;18(3):91–100.
8. *Khromova T.Y., Nosenko G.A., Glazovsky A.F., Muraviev A.Y., Nikitin S.A., Lavrentiev I.I.* New Inventory of the Russian glaciers based on satellite data (2016–2019). *Ice and Snow.* 2021;61(3):341–358. DOI: 10.31857/S2076673421030093.
9. *Chernov R.A., Muraviev A.Ya.* Contemporary changes in the area of glaciers in the western part of the Nordenskjöld Land (Svalbard). *Ice and Snow.* 2018;58(4):462–472. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-4-462-472.
10. *GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space.* Available at: <http://www.glims.org/maps/glims> (accessed 13.03.2025).
11. *Porter C. et al.* ArcticDEM. 2018. Available at: <https://doi.org/10.7910/DVN/ОННУКН> (accessed 13.08.2024). Data archive from 12.07.2018–10.08.2018.
12. *Tielidze L.G., Wheate R.D.* The Greater Caucasus Glacier Inventory. *The Cryosphere.* 2018;12(1):81–94. DOI: 10.5194/tc-12-81-2018.

Статья поступила в редакцию 18.09.2024 г., одобрена после рецензирования 09.10.2024 г., принята к публикации 11.10.2025 г.
The article was submitted 18.09.2024; approved after reviewing 09.10.2024; accepted for publication 11.10.2025.

Информация об авторах

Пшеничников Артем Евгеньевич

Кандидат географических наук
Доцент кафедры картографии и геоинформационных систем
Школа естественных наук
Тюменский государственный университет,
625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6,
e-mail: a.e.pshenichnikov@utmn.ru
ORCID: 0000-0001-7423-0309
SPIN-код: 5659-5462
AuthorID: 417273

Information about authors

Artem E. Pshenichnikov

Candidate of Geography Sciences
Associate Professor of the Department of Cartography
and Geoinformation Systems School of Natural
Tyumen State University
6, Volodarskogo Str., Tyumen, 625003, Russia
e-mail: a.e.pshenichnikov@utmn.ru
ORCID: 0000-0001-7423-0309
SPIN-код: 5659-5462
AuthorID: 417273