

О формировании новых приледниковых озёр в бассейне залива Грёнфьорд (Шпицберген) в 1938–2010 гг.

© 2022 г. К.В. Ромашова^{1*}, Р.А. Чернов²

^{1*}Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия;

²Институт географии РАН, Москва, Россия

*romashova.kv@hotmail.com

Formation of new periglacial lakes in the Grønfjord basin (Svalbard) in 1938–2010

K.V. Romashova^{1*}, R.A. Chernov²

^{1*}Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia;

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*romashova.kv@hotmail.com

Received February 18, 2022 / Revised March 27, 2022 / Accepted April 1, 2022

Keywords: *glacial lakes, glacier retreat, lake area, average deep, total volume, Spitsbergen.*

Summary

Based on remote sensing and field methods, the state of the glacial lakes located in the Grønfjord Bay basin, Svalbard, was assessed for 2008–2010. New lakes were formed due to the retreat of the mountain-valley glaciers of the Nordenskiöld Land and the formation of moraine-ridge topography. According to the 2008–2010 aerial survey data, 111 glacial lakes were identified in the basin area. Most of the new lakes were formed on the moraines of the large mountain-valley glaciers Vestre and Austre Grønfjordbreen, Brydebreen, Skavlelfjellbreen, and Tungebreen. The total area of the glacial lakes is 2.047 ± 0.001 km², 84% of their total area belongs to the two largest lakes Bretjørna and Stemmevatnet. The rest of the lakes in the territory are small, from 20 to 330 m in length, and shallow. The estimation of the volume of water in the lakes was based on field measurements of the depths of 26 lakes and the correlation found. The total volume of water is 24.1 million m³, which is comparable with the value of annual glacial runoff in the basin.

Citation: Romashova K.V., Chernov R.A. Formation of new periglacial lakes in the Grønfjord basin (Svalbard) in 1938–2010. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2022, 62 (2): 193–202. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673422020125, edn: eoswdr.

Поступила 18 февраля 2022 г. / После доработки 27 марта 2022 г. / Принята к печати 1 апреля 2022 г.

Ключевые слова: *приледниковые озёра, отступление ледников, площадь озера, средняя глубина, суммарный объём, Западный Шпицберген.*

С помощью картографического сервиса Норвежского полярного института (toposvalbard) получены данные об озёрах в бассейне залива Грёнфьорд. Всего на водосборе на 2008–2010 гг. обнаружено 134 озера, среди них 111 – новые приледниковые озёра, которые образовались в связи с сокращением ледников с начала XX в. Подавляющее большинство приледниковых озёр появилось на территории морен крупных горно-долинных ледников – Западный и Восточный Грёнфьорд, Тунге и Скавле. Оценены суммарная площадь, объём озёр на водосборе и плотность распределения приледниковых озёр на площади морен. С 1938 до 2010 г. суммарная площадь всех озёр увеличилась в 4 раза.

Введение

Потепление климата на Шпицбергене привело к масштабному сокращению оледенения архипелага [1, 2]. В настоящее время почти 60% площади архипелага занято ледниками, суммарная площадь которых составляет около 33 850 км² [3]. В центральной и западной частях архипелага, где распространено горное оледенение, в связи с повышением температуры воздуха ледники изменились наиболее масштабно [4, 5].

В районе залива Грёнфьорд (западная часть Земли Норденшельда) горные ледники находятся в стадии деградации и отступили на 2–2,5 км. Их площадь в среднем сократилась в 2 раза по сравнению с данными начала XX в. [6], освободив ото льда значительные пространства суши.

Моренно-грядовый рельеф и таяние мёртвых льдов способствуют образованию естественных водоёмов – приледниковых озёр. Возникновение новых приледниковых озёр отмечается в Исландии, в Канадском арктичес-

ком архипелаге, в Гренландии и на Шпицбергене [7, 8]. Однако сведений о приледниковых озёрах Шпицбергена очень мало, в отдельных случаях отмечаются только события их прорыва или формирования [9, 10]. Согласно современным оценкам, на всей территории архипелага установлено 629 приледниковых озёр, большая часть которых обнаружена в южной и западной частях Шпицбергена [11]. Как правило, в горных районах приледниковые озёра, образующиеся на моренах ледников, имеют небольшие размеры и мелководны, но в условиях Шпицбергена масштабы озёр сильно различаются, достигая в размерах 1 км и более. Возникновение крупных приледниковых озёр обусловлено и размерами горно-долинных ледников, и их продолжительной деградацией.

Задачи работы – оценить современное состояние озёр на территории бассейна, ресурсы воды в озёрах, а также исследовать факторы, влияющие на их пространственное распределение. На основе полученных результатов предполагается провести инвентаризацию приледниковых озёр различных областей Шпицбергена для оценки климатических изменений Западного Шпицбергена в будущем.

Характеристика района

Район залива Грэнфьорд (рис. 1) относится к западной части Земли Норденшельда, где значительное влияние на климатические условия оказывает близость к побережью Гренландского моря. Горные хребты поднимаются до высоты 700 м, что значительно превышает высоту снеговой линии и обуславливает существование ледников. К бассейну залива Грэнфьорд относится 16 горных ледников площадью от 0,1 до 12 км². Наиболее крупные среди них – Восточный и Западный Грэнфьорд, Альдегонда и Веринг – лежат западнее залива. За последние 80 лет эти ледники значительно сократились в размерах, отступив от своих границ начала XX в. на 1–2,5 км [6]. Ежегодные гляциологические исследования баланса массы ледников показывают значительные потери льда [12, 13], которые превышают средние величины по сравнению с другими районами Шпицбергена [2]. Большинство ледников лежит в западной части

бассейна, хотя абсолютные отметки высот увеличиваются с запада на восток, что указывает на значение западного переноса на данной территории. Это в совокупности определяет развитие речной сети района.

Речная сеть в бассейне представлена несколькими небольшими реками, имеющими преимущественно снеговое и ледниковое питание. Наиболее полноводная – река Бретьерна, а самая протяжённая (23,5 км) – река Грен [14]. В западной части находится несколько крупных озёр ледникового происхождения. В озёрах Бретьерна и Конгресс регулярно проводят гидрологические исследования [15], оз. Стемме имеет зарегулированный сток, так как обеспечивает посёлок Баренцбург водой.

Методы исследования

Инвентаризация озёр выполнена с помощью картографического сервиса Норвежского полярного института (toposvalbard) [16], в основе которого лежит аэрофотосъёмка 2008–2010 гг. исследуемой территории. Были рассмотрены новые озёра, образовавшиеся на данной территории после 1938 г., когда была выполнена первая аэрофотосъёмка региона. В первую очередь выявляли озёра, которые расположены в пределах моренных комплексов ледников, так как образование новых озёр связано с отступанием ледников. Одно из крупнейших озёр рассматриваемой территории – оз. Конгресс не учитывалось, так как оно существовало до 1938 г. и обозначено на старых картах. Площадь бассейна залива Грэнфьорд была определена с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР). Для расчёта направлений стока применена ЦМР ArcticDEM с разрешением 2 м. В работе использована подплитка мозаики Mosaicked DEM размером 50 × 50 км и идентификатор 34_52_1_1_2m_v3.0, скомпилитированный из полосовых файлов DEM на 23 июля 2018 г. Дистанционно измерены: площадь озера, максимальная длина, высотное положение, протяжённость ледяного берега, координаты центра озёр. Принято к сведению название ближайшего ледника или название долины, где озеро расположено, если ледник перестал существовать. Оценка погрешности площади озёр рассчитана исходя из разреше-

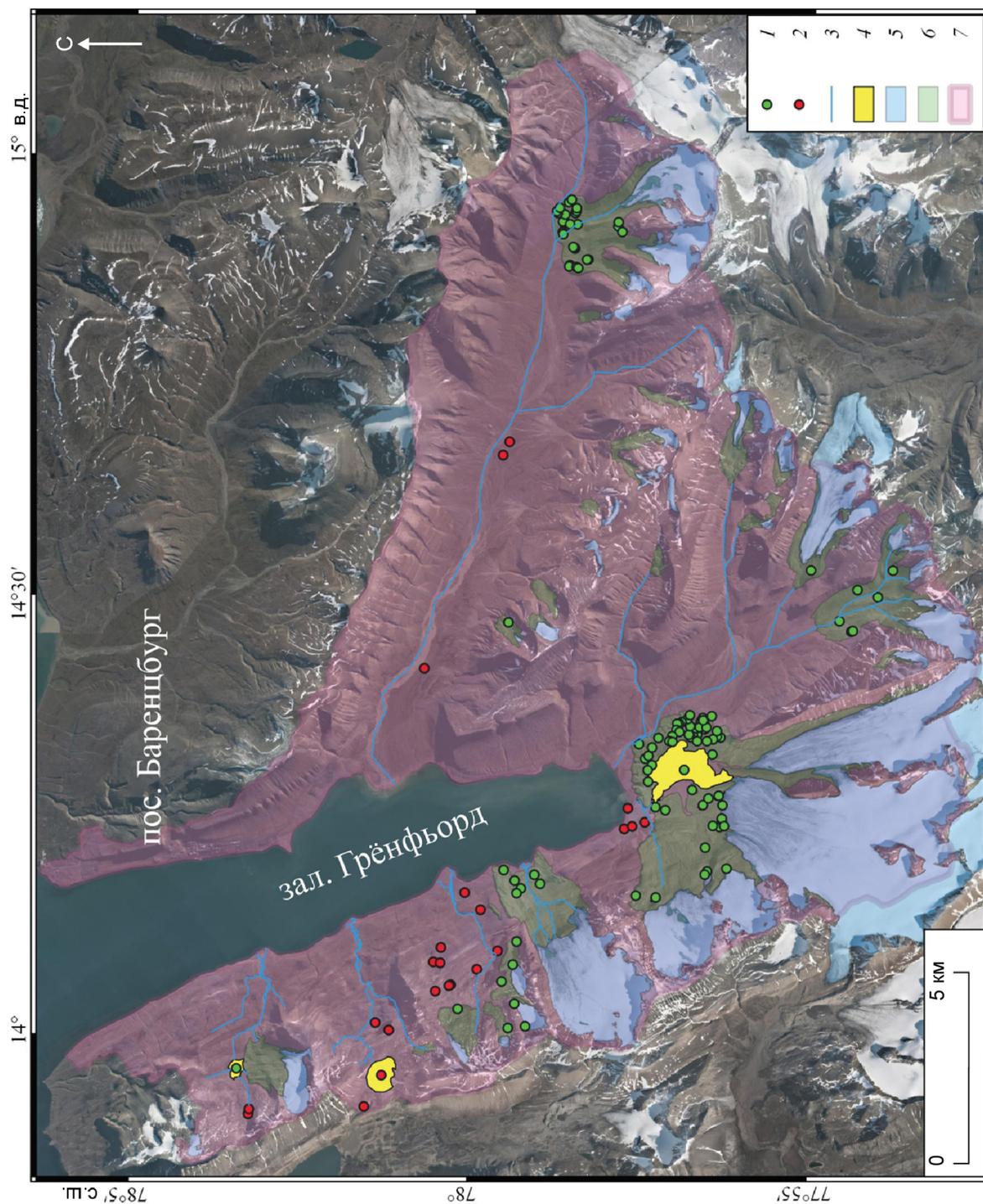


Рис. 1. Озёра водосбора залива Гренфьорд, Шпицберген.

1 – новые приледниковые озёра; 2 – озёра вне морен; 3 – крупные водотоки; 4 – крупнейшие водотоки; 5 – ледники; 6 – морены; 7 – водосбор залива Гренфьорд

Fig. 1. Lakes of the Grenfjord catchment area, Svalbard.

1 – new periglacial lakes; 2 – lakes outside moraines; 3 – large streams; 4 – largest streams; 5 – glaciers; 6 – moraines; 7 – catchment boundary of the Grenfjord Bay

ния аэрофотоснимков, которые лежат в основе оцифровки Норвежского полярного института (toposvalbard) [16].

В августе 2021 г. были проведены полевые исследования в районе ледника Восточный Грэнфьорд, где расположено более 40 озёр. Для 26 небольших озёр получены данные об их максимальной глубине. Измерения вели с помощью эхолота Deeper chirp+2 с модулем wifi, который позволяет определять глубину водоёма и строить карту глубин. Эхолот поплавочного типа забрасывается на шнуре к середине водоёма, сигнал передаётся на планшет в режиме онлайн. Серия замеров с разных берегов позволяла определить максимальную глубину озера. Представляя форму котловин озера в виде пирамиды, средняя глубина озера была принята как 1/3 измеренной максимальной глубины. Суммарный объём всех озёр был определён на основе корреляционной зависимости средней глубины и площади озера. Площадь зеркала оз. Бретьерна и его средняя глубина установлены при батиметрических работах в августе 2021 г. Измерения глубины вели эхолотом «Garmin GPSMAP 527xs» (США), плановая привязка была осуществлена ГНСС-приёмником «Sokkia GRX2» (Япония).

Результаты исследования

Экспансия озёр на фоне сокращения оледенения отчётливо проявляется в Западной части Шпицбергена. На территории бассейна залива Грэнфьорд, составляющей 305 км², по сведениям электронных карт, построенных на основе аэрофотосъёмки 2008–2010 гг., выявлено 134 озера различного масштаба и происхождения. Среди них 111 озёр – приледниковые, т.е. образовались на моренах ледников. Оз. Конгресс занимает естественную впадину в горной долине, несколько озёр расположены на береговых террасах и в низовье долин. Определены также координаты центра всех озёр, их положение на территории бассейна показано на рис. 1. Крупные озёра – Бретьерна, Стемме и Конгресс выделены на рис. 1 жёлтым цветом. Абсолютное большинство озёр лежит в пределах морен ледников, которые образованы в период малого ледникового периода. Среди них самые круп-

ные озёра Бретьерна и Стемме – сточные, но небольшие озёра, по-видимому, не имеют постоянного стока. Они дренируют в периоды летнего снеготаяния и ливневых осадков временными ручьями, русла которых обнаруживаются в ходе полевых маршрутов.

В пределах водосбора существуют озёра, не относящиеся к моренам ледников. Их питание в летний период преимущественно подземное, в переходный весенне-летний период – снеговое. Воды таких озёр свободны от ледникового стока. Вероятно, озёра имеют термокарстовое происхождение. Всего на исследуемой территории обнаружено 23 озера, располагающихся за пределами границ морен ледников. Крупнейшее из таких озёр находится в долине Грендален, имеет максимальную длину 210 м и площадь водного зеркала порядка 24 000 м².

Максимальная длина приледниковых озёр лежит в диапазоне 20–2230 м, а в среднем равна 93 м. Площадь озёр колеблется в широких пределах: от 145 до 1 638 400 м²; суммарная площадь всех озёр по состоянию на 2008–2010 гг. составила 2,047 ± 0,001 км². При этом основная часть площади относится к оз. Бретьерна, которое возникло в результате отступления самых крупных ледников водосбора – Восточный и Западный Грэнфьорд. Формирование обширной озёрной котловины определено экзарацией ложа ледников и образованием протяжённого вала напорной морены ледников после их пульсации [10].

В бассейне залива Грэнфьорд выделяются три кластера новых озёр, появление которых связано с масштабным сокращением горно-долинных ледников. Почти половина всех озёр – 61 озеро – расположена в южной части бассейна близ ледников Западный и Восточный Грэнфьорд. За последние 90 лет эти два ледника отступили на 2–2,5 км, освободив значительную площадь равную 11,7 км². На западном берегу залива в долинах ледников Альдегонда и Брюде также обнаружено 23 озера. В восточной части бассейна около ледников Скавле и Тунге расположено 26 новых озёр. Небольшое число озёр появилось около ледников Веринг в северной части бассейна и Янсон в самой южной части. Таким образом, образование новых озёр связано с сокращением ледников в двух крупных узлах оледенения западной части Земли Норденшельда.

Характеристики озёр на моренах крупнейших ледников в бассейне залива Грэнфьорд

Ледники	Суммарная площадь морен, км ²	Число озёр	Плотность озёр на моренах, 1/км ²	Общая площадь озёр, км ²	Доля площади озёр, %
Восточный и Западный Грэнфьорд	11,7	61	5,2	1,80	15,4
Альдегонда и Брюде	5,3	13	2,5	0,08	1,5
Скавле и Тунге	4,5	28	6,2	0,02	0,4
Янсон	4	6	1,5	0,01	0,2
Веринг	1,3	1	0,8	0,15	11,2

На восточном берегу залива озёр мало, так как здесь нет ледников, хотя ежегодно наблюдается много снежников, в том числе многолетних. На склонах хребтов, образующих долину Грендален, где ранее были распространены небольшие горные ледники, обнаружено только одно озеро. Средняя высота положения новых приледниковых озёр – 87 м, минимальная высота – 4 м и относится к самому крупному озеру – Бретьерна. Какая-либо высотная зависимость озёр от их размера не установлена, но нами отмечено две группы озёр, различных по высоте, что объясняется общим уровнем вмещающего ландшафта в западной – более низкой части бассейна и восточной частях – более возвышенной. Некоторое представление о закономерности распределения новых озёр в зависимости от характеристик оледенения приведено в таблице.

Чем больше площадь морен ледников, тем большее число новых озёр на ней появляется. Наибольшая густота озёрной сети отмечена у ледников Восточный и Западный Грэнфьорд и ледников Скавле и Тунге. Максимальные площади, занятые озёрами, – у ледников Грэнфьорд и Веринг, где образовались крупные озёра Бретьерна и Стемме. Средняя плотность распределения приледниковых озёр на моренах крупнейших ледников бассейна залива Грэнфьорд составляет 3,9 озера на 1 км². 7,2% всей площади морен крупных ледников занято озёрами.

Для создания эмпирической связи площади и глубины приледниковых озёр Шпицбергена были измерены пространственные характеристики озёр в водосборе ледника Восточный Грэнфьорд. В пределах моренного комплекса ледника Восточный Грэнфьорд расположено одно из крупнейших озёр Западного Шпицбергена – оз. Бретьерна и 25 небольших приледниковых озёр. Площадь оз. Бретьерна на 2005 г.

составляет 1,64 км² [15], по данным toposvalbard на 2008–2010 гг. эта цифра не изменилась, а результаты полевых наблюдений в августе 2021 г. показали уменьшение площади зеркала озера в результате выноса речных наносов до 1,61 км². Площадь небольших озёр лежит в диапазоне от 32 до 56 000 м². С помощью эхолота были измерены максимальные глубины приледниковых озёр, которые достигали 5,1 м. Средняя максимальная глубина озёр – 1,9 м. При сопоставлении средних измеренных глубин и площади озёр установлена эмпирическая связь этих параметров, которая указывает на возможность оценки их суммарного объёма. В массив точек включены данные о средних глубинах озёр Бретьерна (13,8 м) и Стемме (4,2 м), известные из полевых исследований и литературных источников [15] (рис. 2). Соотношению площади озёр S и их средней глубины H удовлетворяет степенная зависимость

$$S = 1600H^2. \quad (1)$$

Величина достоверности аппроксимации R^2 между предложенной зависимостью и полевыми данными равна 0,92 (см. рис. 2). Также на графике приведена кривая эмпирического соотношения средней глубины и площади озера, построенная на основе базы данных WOLDLAKE о полярных озёрах мира [8]. В целом обе зависимости согласуются между собой в рассматриваемом диапазоне. В нашем случае мы имеем также данные о малых озёрах, которые описываются полученной зависимостью (1). Достоверность аппроксимации глубины и площади приледниковых озёр этого района составляет 0,92, что позволяет уверенно оценивать глубины новых озёр по данным их площади. Суммарная площадь приледниковых озёр равна $2,047 \pm 0,001$ км², при этом небольшие озёра длиной не более 300 м составляют 97% общего числа озёр в водосборе.

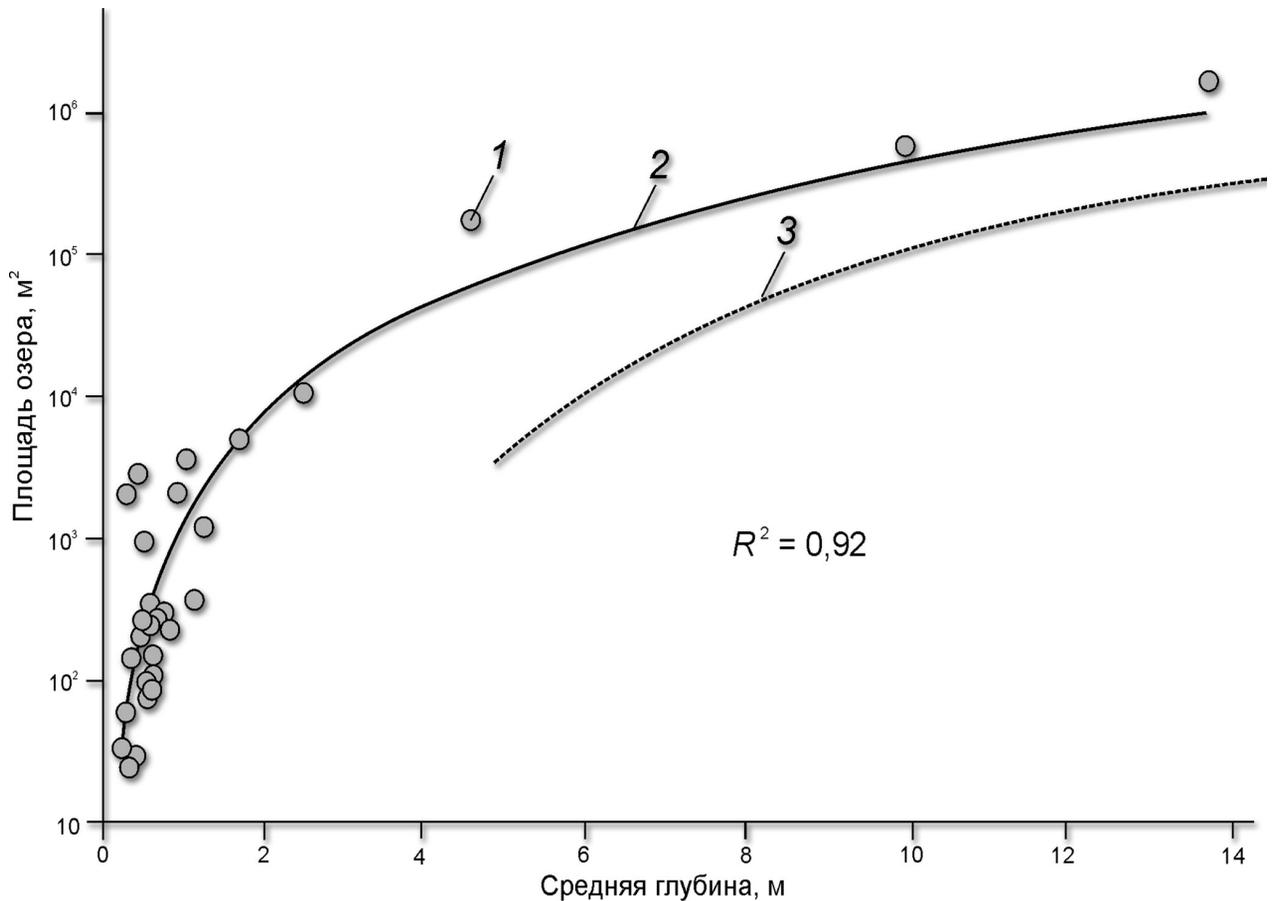


Рис. 2. Эмпирическая связь средней глубины и площади озёр:
 1 – полевые измерения; 2 – приближённая кривая; 3 – кривая на основе работы [8]
Fig. 2. Empirical relationship between the average depth and area of lakes:
 1 – field measurements; 2 – approximate curve; 3 – curve based on [8]

Авторами принято допущение, что в гляциальном ландшафте минимальная средняя глубина озера H_0 равна 0,8 м. Эта величина соответствует глубинам в малых озёрах-проталинах и соотносится с глубиной оттаивания пород в летний период. Тогда объём каждого озера равен произведению его площади на среднюю глубину, которая нами оценивается по формуле

$$H = H_0 + 0,071S^{0,38}.$$

На основе полученной эмпирической связи оценены объёмы воды в озёрах. Суммарный объём составляет около 24,1 млн м³. Фактически 93% объёма вод находится в оз. Бретьерна (одно из крупнейших новых озёр на Шпицбергене) и лишь 7% в остальных озёрах бассейна. Соотношение числа приледниковых озёр, их суммарной площади и объёма для разных диапазонов площади озёр даны на диаграмме рис. 3.

Обсуждение результатов

Анализ распределения озёр в бассейне и статистических данных позволяет сделать вполне логичный вывод, что массовое появление озёр обусловлено отступанием ледников, которые ранее были расположены на низких гипсометрических уровнях и занимали большие площади. На территории Земли Норденшельда находится около 200 ледников [6], некоторые из них имеют обширные морены, а отступление ледника обусловило образование десятков озёр. Это, как правило, крупные горно-долинные ледники в долинах Рейндален и Адвентдаллен. По-видимому, формирование множества новых озёр характерно для пространств морен быстро сокращающихся горно-долинных ледников, языки которых раньше находились на низких гипсометрических уровнях.

Особенность рассматриваемого бассейна – образование ледникового оз. Бретьерна – одного из крупнейших озёр Шпицбергена, которое содержит основные водные ресурсы рассматриваемого района. Согласно данным гляциологических измерений, годовые потери льда за счёт таяния двух самых крупных ледников в бассейне Восточный и Западный Грэнфьорд, питающих озеро, не превышают 29 млн м³. Объём озера при этом составляет 22,3 млн м³, почти 93% объёма всех озёр. Тем не менее, с точки зрения анализа климатических изменений важна вся совокупность озёр. В данном случае статистические изменения числа и площади озёр могут быть более показательными по сравнению с оценкой их ресурса.

С 1938 г. число озёр на водосборе залива Грэнфьорд увеличилось с 23 до 134, а их плотность от 0,08 до 0,44 озёр на 1 км². По данным 2008–2010 гг. мы определили всего восемь озёр, контактирующих с ледниками, т.е. имеющих ледяные берега. На спутниковом снимке Sentinel-2 L1C_T33XVG_A032524_20210913T115707 от 13 сентября 2021 г. видно, что такие озёра частично утратили контакт с ледником. Однако наблюдается развитие существующих и появление новых приледниковых озёр, в частности у активно отступающего ледника Западный Грэнфьорд. Отметим, что ледники в последние десятилетия отступили на более высокие гипсометрические уровни, где днища горных долин имеют большие уклоны и рельеф менее удобен для формирования естественных впадин. На основе полученной эмпирической связи были оценены ресурсы приледниковых озёр всего бассейна залива Грэнфьорд.

За исключением оз. Бретьерна, средняя максимальная глубина озёр на водосборе ледника Восточный Грэнфьорд – 1,9 м. По данным экспедиций ААНИИ [15], максимальная толщина льда крупнейших озёр территории достигает 1,3 м, что указывает на возможно полное промерзание многочисленных небольших озёр в зимний период. Их существование ограничивается в среднем 90–120 сутками в году. Абсолютное большинство рассматриваемых озёр – бессточные рис. 4. Из-за отсутствия контакта с ледником они имеют в основном снеговое и дождевое питание. Уровень таких озёр может меняться в летний период при таянии близлежа-

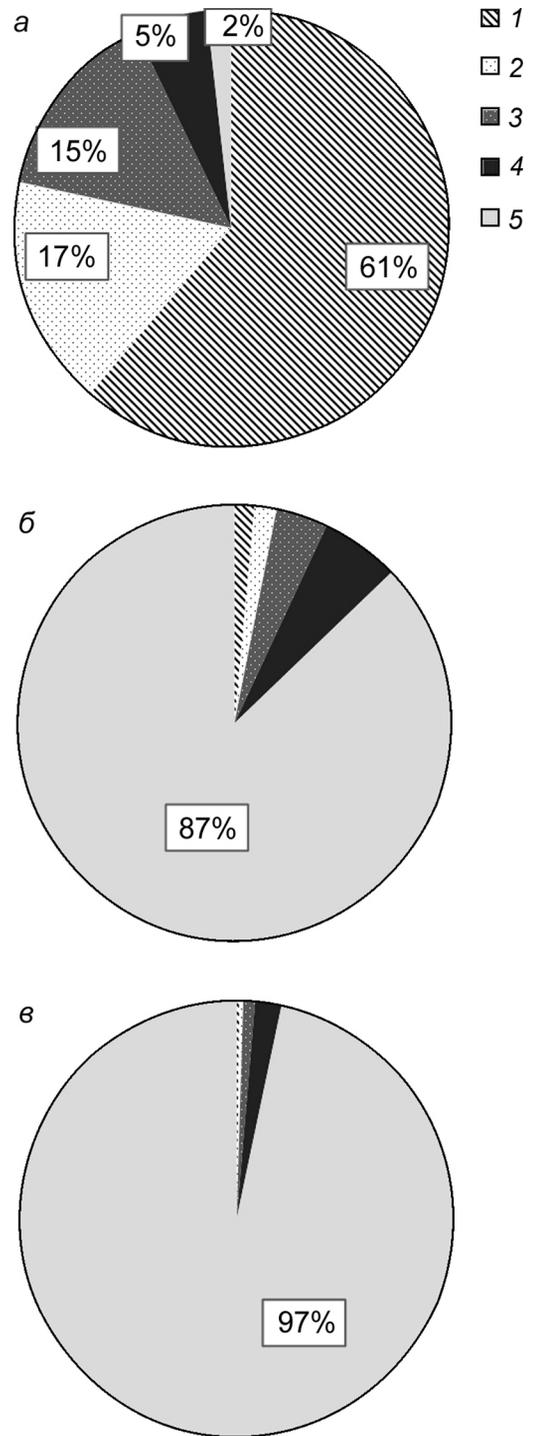


Рис. 3. Процентное соотношение озёр разного размера на водосборе залива Грэнфьорд:

a – число озёр; *б* – площадь озёр; *в* – объём озёр; диапазон площадей, м²: 1 – 0–999, 2 – 1000–2999, 3 – 3000–9999, 4 – 10000–99999, 5 – > 10000

Fig. 3. Percentage of lakes of different sizes in the catchment area of the Grønfjord Bay:

a – the number of lakes, *б* – the area of lakes, *в* – the volume of lakes. Area range, m²: 1 – 0–999, 2 – 1000–2999, 3 – 3000–9999, 4 – 10000–99999, 5 – >10000



Рис. 4. Приледниковое озеро, расположенное на морене ледника Восточный Грэнфьорд
Fig. 4. A periglacial lake located on the Austre Grønfyordbreen moraine

щих снежников, выпадении жидких осадков, испарении и просачивания воды сквозь морену. Оценки современного состояния озёр позволяют в дальнейшем проводить сравнительный анализ изменений озёр для различных периодов. Наиболее вероятно, что количественные и пространственные изменения новых озёр будут связаны с дальнейшей деградацией ледников [2] и таянием мёртвых льдов в морене. По многочисленным прогнозам, сокращение ледников Шпицбергена в XXI в. будет продолжаться, что приведёт к дальнейшей экспансии озёр, особенно на северных и восточных территориях архипелага, где сосредоточено наибольшее число озёр, имеющих ледяные берега [11].

Выводы

Потепление климата в Арктике привело к значительному сокращению горных ледников на территории Западного Шпицбергена. На освободившемся от ледников пространстве формируются новые приледниковые озёра. На примере бассейна залива Грэнфьорд площадью 305 км², где оледенение занимает лишь небольшую часть территории, рассмотрено современное состояние озёр бассейна. По состоянию на

2008–2010 гг. на основе дистанционных методов установлено 134 озера в пределах водосбора. Среди них 111 озёр – новые приледниковые, образовавшиеся после 1938 г. Большинство озёр сосредоточено на моренах горно-долинных ледников, сокращение которых было наиболее масштабным. За исключением озёр Бретьерна и Стемме, новые озёра – мелководны и их длина не превышает 300 м. Общая площадь всех озёр – $2,047 \pm 0,001$ км². Суммарный объём воды, заключённый в новых приледниковых озёрах, приблизительно равен 24,1 млн м³, что соизмеримо с объёмом ледникового стока на территории бассейна. Основной объём воды заключён в оз. Бретьерна, которое образовалось при отступании пульсирующих ледников Восточный и Западный Грэнфьорд. Для небольших озёр построена корреляционная зависимость площади и их средней глубины, которая позволяет перейти к оценкам водных ресурсов в бассейне и сопредельных территориях. В 2021 г. отмечается развитие существующих и появление новых приледниковых озёр, в частности у активно отступающего ледника Западный Грэнфьорд.

Благодарности. Разработка методики и анализ данных выполнены в рамках темы Государственного задания Института географии РАН

AAAA-A19-119022190172-5 (FMGE-2019-0004) «Оледенение и сопутствующие природные процессы при изменениях климата».

Acknowledgments. The development of the methodology and data analysis were carried out within the

framework of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences state task AAAA-A19-119022190172-5 (FMGE-2019-0004) «Glaciation and related natural processes under climate change».

Литература

1. Hagen J.O., Liestøl O., Roland E., Jørgensen T. Glacier atlas of Svalbard and Jan Mayen // Meddelelser 129. Ed.: A. Brekke. Oslo: Norsk polarinstitutt, 1993. 141 p.
2. Nuth C., Kohler J., König M., von Deschwanden A., Hagen J.O., Käab A., Moholdt G., Pettersson R. Decadal changes from a multi-temporal glacier inventory of Svalbard // The Cryosphere. 2013. V. 7. P. 1603–1621.
3. Pfeffer W.T., Arendt A.A., Bliss A., Bolch T., Cogley J.G., Gardner A. Alex S., Hagen J.O., Hock R., Kaser G., Kienholz C., Miles E.S., Moholdt G., Mölg N., Paul F., Radič Rastner P. Raup B.H., Rich J., Sharp Martin J. and The Randolph Consortium. The Randolph Glacier Inventory: A globally complete inventory of glaciers // Journ. of Glaciology. 2014. V. 60. № 221. P. 537–552. doi: 10.3189/2014JoG13J176.
4. Kohler J., James T.D., Murray T., Nuth C., Brandt O., Barrand N.E., Aas H.F., Luckman A. Acceleration in thinning rate on western Svalbard glaciers // Geophys. Research Letters. 2007. V. 34 (18). L18502. doi: 10.1029/2007GL030681.
5. Malecki J. Accelerating retreat and high-elevation thinning of glaciers in central Spitsbergen // The Cryosphere. 2016. № 10. P. 1317–1329.
6. Чернов Р.А., Муравьев А.Я. Современные изменения площади ледников западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) // Лёд и Снег. 2018. № 58 (4). С. 462–472. doi.org/10.15356/2076-6734-2018-4-462-472.
7. Harrison S., Karge J.S., Hugge, C., Reynolds J., Shugar D.H., Betts R.A., Emmer A., Glasser N., Haritashya U.K., Klimeš J., Reinhardt L., Schaub Y., Wiltshire A., Regmi D., Vilímek V. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods // The Cryosphere. 2018. V. 12. P. 1195–1209. doi: org/10.5194/tc-12-1195-2018.
8. Рянжин С.В., Субетто Д.А., Кочков Н.В., Ахметова Н.С., Вейнмейстер Н.В. Полярные озера Мира: современные данные и состояние исследований // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 4. С. 387–397. doi.org/10.1134/S0097807810040019.
9. Liestøl O., Repp K., Wold, B. Supra-glacial lakes in Spitsbergen // Nor. Geogr. Tidsskr. 1980. № 34 (2). P. 89–92.
10. Кокин О.В., Кириллова А.В. Реконструкция динамики ледника Грөнфьорд (Западный Шпиц-

Reference

1. Hagen J.O., Liestøl O., Roland E., Jørgensen T. Glacier Atlas of Svalbard and Jan Mayen. Meddelelser 129. Ed. A. Brekke. Oslo: Norsk polarinstitutt, 1993: 141 p.
2. Nuth C., Kohler J., König M., von Deschwanden A., Hagen J.O., Käab A., Moholdt G., Pettersson R. Decadal changes from a multi-temporal glacier inventory of Svalbard. The Cryosphere. 2013, 7: 1603–1621.
3. Pfeffer W.T., Arendt A.A., Bliss A., Bolch T., Cogley J.G., Gardner A., Alex S., Hagen J.-O., Hock R., Kaser G., Kienholz C. Miles E.S., Moholdt G., Mölg N., Paul F., Radič Rastner P. Raup B.H., Rich J., Sharp Martin J. and The Randolph Consortium. The Randolph Glacier Inventory: A globally complete inventory of glaciers. Journ. of Glaciology. 2014, 60 (221): 537–552. doi: 10.3189/2014JoG13J176.
4. Kohler J., James T.D., Murray T., Nuth C., Brandt O., Barrand N.E., Aas H.F., Luckman A. Acceleration in thinning rate on western Svalbard glaciers. Geophys. Research Letters. 2007, 34 (18): L18502. doi: 10.1029/2007GL030681.
5. Malecki J. Accelerating retreat and high-elevation thinning of glaciers in central Spitsbergen. The Cryosphere. 2016, 10: 1317–1329.
6. Chernov R.A., Muraviev A.Y. Contemporary changes in the area of glaciers in the western part of the Nordenskjöld Land (Svalbard). *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2018, 58 (4): 462–472. doi.org/10.15356/2076-6734-2018-4-462-472. [In Russian].
7. Harrison S., Karge J.S., Hugge, C., Reynolds J., Shugar D.H., Betts R.A., Emmer A., Glasser N., Haritashya U.K., Klimeš J., Reinhardt L., Schaub Y., Wiltshire A., Regmi D., Vilímek V. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods. The Cryosphere. 2018, 12: 1195–1209. doi: org/10.5194/tc-12-1195-2018.
8. Ryzhikh S.V., Subetto D.A., Kochkov N.V., Akhmetova N.S. *Veinmeister N.V.* Polar Lakes of the World: Current Data and Status of Investigations. *Vodnye resursy*. Water Resources. 2010, 37 (4): 387–397. doi.org/10.1134/S0097807810040019. [In Russian].
9. Liestøl O., Repp K., Wold B. Supra-glacial lakes in Spitsbergen. *Nor. Geogr. Tidsskr.* 1980, 34 (2): 89–92.
10. Kokin O.V., Kirillova A.V. Reconstruction of the dynamics of the Grönfjord glacier (Spitsbergen) in the Holocene. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2017, 57 (2):

- берген) в голоцене // Лёд и Снег. 2017. № 57 (2). С. 241–252. doi.org/10.15356/2076-6734-2017-2-241-252.
11. Чернов Р.А., Ромашова К.В. Современное состояние приледниковых озёр архипелага Шпицберген // Криосфера Земли. 2022. Т. 26. № 1. С. 36–45. doi: 10.15372/KZ20220104.
 12. Чернов Р.А., Кудиков А.В., Вишвецова Т.В., Осокин Н.И. Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грёнфьорд (Западный Шпицберген) // Лёд и Снег. 2019. № 59 (1). С. 59–66. doi.org/10.15356/2076-6734-2019-1-59-66.
 13. Терехов А.В., Тарасов Г.В., Сидорова О.Р., Демидов В.Э., Анисимов М.А., Веркулич С.Р. Оценка баланса массы ледника Альдегонда (Западный Шпицберген) в 2015–2018 гг. на основе модели ArcticDEM, геодезических и гляциологических данных // Лёд и Снег. 2020. Т. 60. № 2. С. 192–200. doi.org/10.31857/S2076673420020033.
 14. Ромашова К.В., Чернов Р.А., Василевич И.И. Исследование ледникового стока рек в бассейне залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. Т. 65. № 1. С. 34–45. https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-1-34-45.
 15. Третьяков М.В., Брызгалов В.А., Румянцева Е.В., Ромашова К.В. Пресноводные ресурсы Западного Шпицбергена в современных условиях (многолетние исследования ААНИИ). СПб: Ротапринт ААНИИ, 2021. 200 с. ISBN 978–5–98364–105–1.
 16. Электронный ресурс: <http://toposvalbard.npolar.no/> (дата обращения: 01.08.2020).
 - 241–252. doi.org/10.15356/2076-6734-2017-2-241-252. [In Russian].
 11. Chernov R.A., Romashova K.V. Current state of the proglacial lakes of the Svalbard. *Kriosfera zemli. Earth's Cryosphere*. 2022, 26 (1): 36–45. doi: 10.15372/KZ20220104. [In Russian].
 12. Chernov R.A., Kudikov A.V., Vshivtseva T.V., Osokin N.I. Estimation of the surface ablation and mass balance of Eustre Grønffjordbreen (Spitsbergen). *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2019, 59 (1): 59–66. doi.org/10.15356/2076-6734-2019-1-59-66. [In Russian].
 13. Terekhov A.V., Tarasov G.V., Sidorova O.R., Demidov V.E., Anisimov M.A., Verkulich S.R. Estimation of mass balance of Aldegondabreen (Spitsbergen) in 2015–2018 based on ArcticDEM, geodetic and glaciological measurements. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2020, 60 (2): 192–200. doi.org/10.31857/S2076673420020033. [In Russian].
 14. Romashova K.V., Chernov R.A., Vasilevich I.I. Study of the glacial flow of rivers in the Grønffjord bay basin (Western Svalbard). *Problemy Arktiki i Antarktiki. Arctic and Antarctic Problems*. 2019, 65 (1): 34–45. https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-1-34-45. [In Russian].
 15. Tretiakov M.V., Bryzgalov V.A., Rumiantseva E.V., Romashova K.V. *Presnovodnye resursy Zapadnogo SHpicbergena v sovremennyh usloviyah (mnogoletnie issledovaniya AANII)*. Freshwater resources of Western Spitsbergen in modern conditions (long-term studies of the AARI). SPb.: Arctic and Antarctic Research Institute, 2021: 200 p. [In Russian].
 16. <http://toposvalbard.npolar.no/> (date of the application: 01.08.2020).