

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ СУШИ

УДК 556.557+551.324.63
DOI: 10.15372/KZ20240502
EDN: QNITKL

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР ШПИЦБЕРГЕНА

Р.А. Чернов^{1,*}, К.В. Ромашова²

¹ Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия

² Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, Россия

*Автор для контакта; e-mail: rob31@mail.ru

Представлена классификация приледниковых озер, которые формировались на территории Шпицбергена после Малого ледникового периода в связи с сокращением оледенения архипелага. В основе классификации использованы три морфологических признака, связанных с границами ледника и конечной морены: положение озера относительно границ, контакт с ледником и условие подпруживания. Комбинации признаков позволяют выделить пять типов озер. На основе картографического сервиса Норвежского полярного института по состоянию на 2008–2012 гг. было рассмотрено 705 приледниковых озер архипелага. Среди них ледниково-подпрудные озера составляют 24 %, моренно-подпрудные озера – 22 %, озера, контактирующие с фронтом ледника, составляют 17 %, термокарстовые озера на морене – 27 % и озера, контактирующие с конечной мореной, расположенные за ее пределами – 10 %. Около 90 % суммарной площади приледниковых озер составляют подпрудные озера и озера, контактирующие с ледником. Они активно формируются в настоящее время в связи с разрушением ледяных берегов и моренных валов. Несмотря на различия в рельефе, типе оледенения, климате и темпах сокращения оледенения в различных частях архипелага, соотношения типов озер оказались подобными. Это указывает на общий генезис их образования и схожие черты ландшафта морен. Заметные различия проявляются в соотношении моренно-подпрудных озер и озер, контактирующих с ледниками, для горного и покровного оледенения. Вероятно, по мере дегляциации Шпицбергена распределение типов приледниковых озер будет сохраняться, что позволяет делать оценки озерных ресурсов и выявлять потенциально опасные объекты и объекты климатического мониторинга.

Ключевые слова: приледниковое озеро, ледник, ледяные берега, конечная морена, моренно-подпрудные озера.

Ссылка для цитирования: Чернов Р.А., Ромашова К.В. Классификация приледниковых озер Шпицбергена // Криосфера Земли, 2024, т. XXVIII, № 5, с. 14–20. DOI: 10.15372/KZ20240502. EDN: QNITKL.

CLASSIFICATION OF PERIGLACIAL LAKES OF SVALBARD

R.A. Chernov^{1,*}, K.V. Romashova²

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetnyj per. 29, Moscow, 119017 Russia

² Arctic and Antarctic Research Institute, Beringa St. 38, St. Petersburg, 199397 Russia

*Corresponding author; e-mail: rob31@mail.ru

A classification of periglacial lakes that formed in Svalbard after the Little Ice Age due to the reduction of glaciation is presented. The classification is based on three morphological features: the position of the lake relative to the boundaries of the glacier and the terminal moraine, contact with the glacier, and the damming condition. Combinations of these features allow us to distinguish five types of lakes. Based on the Norwegian Polar Institute cartographic service as of 2008–2012, 705 periglacial lakes of the archipelago were analyzed. Among them, glacier-dammed lakes make up 24%; moraine-dammed lakes, 22%; lakes in contact with the glacier front, 17%; thermokarst lakes over the moraine, 27%; and lakes in contact with the terminal moraine located beyond it, 10%. Dammed lakes and lakes in contact with glaciers compose about 90% of the total area of periglacial lakes in Svalbard. They are actively forming at present due to the destruction of ice banks and moraine ridges. Despite the differences in the relief, type of glaciation, climate, and rate of glaciation reduction in different parts of the archipelago, the ratios between different types of periglacial lakes are similar. This attests to their common genesis and similar features of the moraine landscape. Noticeable differences appear in the ratio of moraine-dammed lakes and lakes in contact with mountain glaciers and cover glaciers. It is likely that during the further deglaciation of the archipelago, the distribution of these types of lakes will be preserved, which makes it possible to assess lake resources and identify potentially dangerous objects and objects of climate monitoring.

Keywords: periglacial lake, glacier, ice shores, terminal moraine, moraine-dammed lakes.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее столетие на Шпицбергене наблюдается интенсивное сокращение оледенения, которое обусловлено потеплением климата в Арктике [Kohler et al., 2007; Nuth et al., 2013]. Масштабы сокращения ледников в различных частях Шпицбергена заметно различаются: с 1937–1938 гг. до 2010-х годов на юге и западе их сокращение составило около 50 %, а на востоке и северо-востоке находилось в пределах 15–20 % [Чернов, Муравьев, 2018; Pfeiffer et al., 2014]. На освободившихся ото льда территориях формируются многочисленные ледниковые озера [Рянжин и др., 2010; Harrison et al., 2018; Urbanowski, 2022]. Несмотря на различия процесса дегляциации, формирование озер происходит повсеместно и масштабно [Ромашова, Чернов, 2022; Чернов, Ромашова, 2022]. В ряде исследований отмечено, что динамика приледниковых озер имеет большие различия, что обусловлено их размерами и условиями подпруживания [Чернов, Ромашова, 2023; Wiczeorek et al., 2022].

Для многих горных регионов мира уже выполнены инвентаризации и классификации приледниковых озер [Pi et al., 2022], но для арктических регионов эти исследования были начаты недавно [Чернов, Ромашова, 2022; Пряхина и др., 2023; Urbanowski, 2022; Wiczeorek et al., 2022]. Принцип отбора приледниковых озер по признаку контакта с ледником не является достаточным, так как исключает многочисленные озера, которые контактировали с ним в недавнем прошлом в процессе его отступления. Кроме того, этот признак меняется со временем, что связано с динамикой уровня воды в озерах [Чернов, Ромашова, 2023]. Множественные описания ледниковых озер горных стран содержат не только информацию о морфометрических характеристиках (длина, площадь, высотный уровень), но и сведения об их положении в ландшафте. Морфометрические характеристики всех приледниковых озер Шпицбергена были определены авторами [Чернов, Ромашова, 2023]. В части контактных с ледниками озер оценки авторов совпадают со сведениями из [Wiczeorek et al., 2022]. Различия относятся к вопросу понимания принадлежности ледникового озера к классу “приледниковых”, что не исключает субъективизма. Предложено рассматривать приледниковые озера Шпицбергена как динамичные природные объекты, формирование которых происходит по мере отступления ледников, поэтому важны не только текущие границы ледника, но и положение границ в его максимуме, которые маркируются конечной мореной.

Основной целью настоящей работы является создание классификации приледниковых озер архипелага Шпицберген на основе признаков, выявляемых дистанционными методами и непосредственно связанных с процессом дегляциации.

В этом аспекте появляется инструмент, который позволит анализировать данные о состоянии групп (типов) приледниковых озер как объекта климатических изменений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Пространственное положение озер относительно границ ледника и конечной морены было определено по материалам картографического сервиса toposvalbard.npolar.no [Norwegian..., 2023]. Методика поиска приледниковых озер на основе материалов аэрофотосъемки Норвежского полярного института (НПИ) подробно описана в работе [Ромашова, Чернов, 2022]. Карты сервиса построены на основе ортофотоснимков архипелага по состоянию на 2008–2012 гг. Высокое качество снимков аэрофотосъемки в основе картографического сервиса позволяет детально рассмотреть границы ледников, морен и береговую линию озер.

Для определения количества типов приледниковых озер рассмотрена принципиальная схема положения объекта относительно двух пространственных границ при возможном контакте с этими границами (рис. 1).

На схеме показано семь возможных положений объекта. С учетом I и II границ конечной морены и ледника, соответственно, крайнее правое положение не относится к приледниковым озерам. Объект удаленно расположен за пределами конечной морены. Второе слева положение объекта физически не существует – нет озер, примыкающих к границе ледника сверху. Оставшиеся пять положений могут быть однозначно описаны тремя признаками, связанными с границами (ледника и его конечной морены). Это – принадлежность к территории моренных комплексов, контакт с границей (ледника или морены) и признак подпруживания у границы.

Границы ледника и границы конечной морены хорошо дешифрируются на картах и спутниковых снимках. Они обозначают территорию современных моренных комплексов, где расположено большинство приледниковых озер. Отмечено, что ряд приледниковых озер располагается вне территории моренных комплексов. На контакте с ледником и выше этих комплексов существуют ледниково-подпрудные озера. Ниже ледников и за

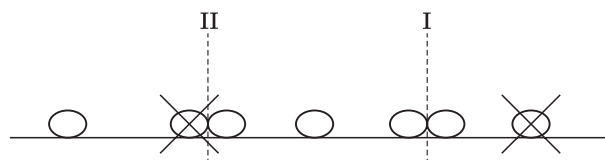


Рис. 1. Принципиальная схема положения объекта относительно границ.

I – граница конечной морены, II – граница ледника.

пределами конечной морены, но на контакте с ней, есть озера, сформированные в период максимума оледенения. Таким образом, сочетание признаков определяет три типа озер на территории моренных комплексов и два типа за их пределами.

В отношении озер, имеющих контакт с ледником или конечной мореной, важна детализация изображения ландшафта, поэтому для сбора информации использована аэрофотосъемка НПИ с разрешением около 0.2 м. В данном случае хорошо видны не только береговая линия, но и русла водотоков, вытекающих из озер. Это облегчает определение типа озер по признаку подпруживания. Условия подпруживания приледниковых озер на периферии ледниковых куполов не очевидны. В этих случаях озера, которые имеют контакт с ледником, но для которых отсутствуют признаки постоянного речного стока, относятся к ледниково-подпрудным озерам.

Статистические оценки морфометрических характеристик озер (количество, высотный уровень озер, площадь и погрешность площади) были получены на основе материалов инвентаризации [Чернов, Ромашова, 2022].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Принципиальная схема положения объекта (см. рис. 1) и предложенные признаки оказались инструментом для определения типов озер. Например, озера, которые авторы определяют как термокарстовые озера на морене, имеют сочетание признаков: 1) озеро лежит в пределах моренного комплекса, 2) озеро не имеет контакта с ледником, 3) озеро не подпрудное. Сочетание признаков для разных типов озер будет различным. Схема положения озер различного типа относительно двух границ по трем признакам приведена на рис. 2.

Так как признаки однозначно определяют тип озера, во всей совокупности не было озер неоп-

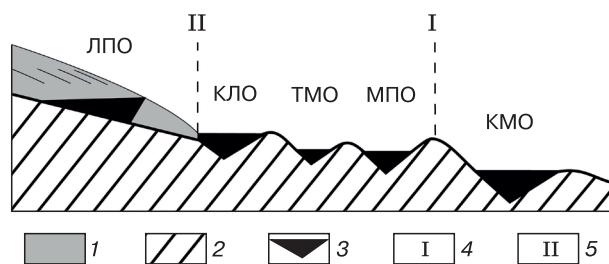


Рис. 2. Условная схема положения приледниковых озер Шпицбергена относительно границ конечной морены и ледника.

1 – ледник, 2 – морена, 3 – приледниковые озера, 4 – граница конечной морены, 5 – граница ледника. ЛПО – ледниково-подпрудные озера; КЛО – контактирующие с ледниками озера; ТМО – термокарстовые озера на моренах; МПО – моренно-подпрудные озера; КМО – конечно-моренные озера.

ределенного типа. Построение схемы классификации на основе трех признаков представлено на рис. 3.

Для обозначения типа озер использовали общеизвестные термины: ЛПО – ледниково-подпрудные озера, МПО – моренно-подпрудные озера, ТМО – термокарстовые озера, и два новых термина: КЛО – контактирующие с ледниками озера, КМО – конечно-моренные озера, т. е. озера, контактирующие с конечной мореной, но расположенные за ее пределами. Новообразованные термины указывают на множество приледниковых озер около ледников и их морен, которые не подпружены, а занимают естественные котловины, сформированные ледником. Следует отметить, что все озера рассмотренных типов контактируют или ранее контактировали с ледниками. Наиболее вероятно, что множество приледниковых озер, которые уже не имеют ледяных берегов, могут иметь контакт с мертвыми льдами на моренах ледников. Многолетние полевые исследования авторов на Шпицбергене подтверждают это предположение [Ромашова, Чернов, 2022]. Наибольший интерес представляют озера, которые имеют ледяные берега. Их формирование продолжается в настоящий период за счет разрушения ледяных фронтов ледников. Динамика этих объектов оказывается важной для озерного фонда архипелага в целом [Чернов, Ромашова, 2023].

Как и границы, эти признаки не связаны с метрическими характеристиками объекта (уровнем воды, площадью и размерами) и поэтому являются универсальными. Логика построения схемы классификации (см. рис. 3) показывает, что МПО объединяют две комбинации признаков, в которых озера могут контактировать с фронтом ледника или не иметь контакта. Этот признак является переменчивым для МПО в связи со значительной динамикой озер, обусловленной сезонными и годовыми изменениями их уровня.

Самый многочисленный тип озер – термокарстовые (ТМО), образовавшиеся на моренах ледника по мере его отступания. Их развитие связано с термокарстовыми процессами на моренах вследствие таяния мертвых льдов. Эти небольшие озера распространены на моренах горно-долинных ледников, фронты которых ранее спускались на низкие гипсометрические уровни. Они также многочисленны на моренных комплексах ледников, которые отступили от берега моря. Характерной особенностью ТМО является отсутствие притока воды с ледника, поэтому вода в них имеет голубой или зеленоватый цвет, связанный с высокой прозрачностью воды. Характеристики озер различных типов даны в табл. 1.

Наиболее характерны для Шпицбергена и также многочисленны моренно-подпрудные озера, которые образовались вследствие подпруживания

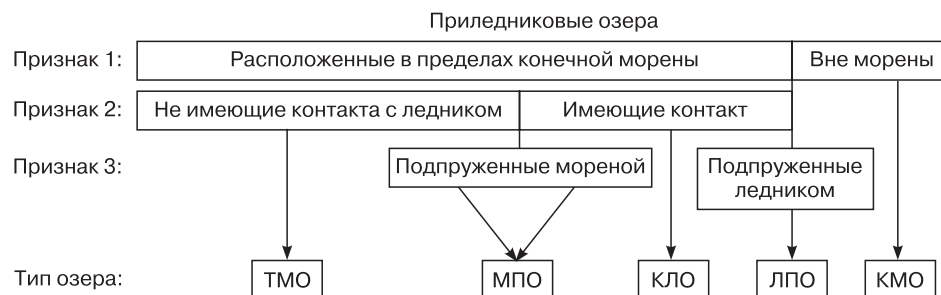


Рис. 3. Схема классификации приледниковых озер Шпицбергена.

Таблица 1. Характеристики приледниковых озер различных типов

Тип приледниковых озер архипелага	Количество озер	Доля озер, %	Средняя высота уреза воды, м	Средняя длина озера, м	Средняя площадь озера, км ²	Общая площадь озер, км ²
Озера в контакте с ледником, не подпруженные (КЛО)	116	16	111	827.9 ± 8.6	0.432 ± 0.036	50.13 ± 0.52
Ледниково-подпрудные озера (ЛПО)	157	22	280	765.5 ± 7.0	0.244 ± 0.022	38.38 ± 0.26
Моренно-подпрудные озера (МПО)	172	24	105	741.4 ± 6.2	0.474 ± 0.005	81.55 ± 0.05
Термокарстовые озера на морене (ТМО)	192	28	39	252.0 ± 8.3	0.025 ± 0.001	4.74 ± 0.02
Конечно-моренные озера (КМО) – расположенные перед конечной мореной	68	10	138	633.3 ± 4.9	0.186 ± 0.008	12.62 ± 0.06

ледниковых вод конечной мореной. Эта группа озер отличается значительными размерами. При этом два десятка наиболее крупных озер типа МПО составляют около половины площади всех озер архипелага. Около трети этих озер (68 шт.) имеют контакт с ледником. Однако в связи со значительной динамикой уровня озер этого типа контакт с ледником и протяженность ледяных берегов могут изменяться.

Ледниково-подпрудные озера и КЛО непосредственно контактируют с ледниками, но различаются по признаку подпруживания. Постоянному стоку из ЛПО препятствует ледник. Положение озер типа ЛПО не связано строго с территорией моренных комплексов. В области горного оледенения эти озера лежат выше нижней границы ледников и зачастую образованы стоком талой воды из боковых долин. Расположены КЛО ниже края ледника в пределах конечной морены или выходят за ее пределы (что характерно для периферии покровного оледенения). Этот тип озер часто встречается на моренных комплексах выводных ледников, которые разгружались в морские заливы и впоследствии отступили на сушу.

Среди приледниковых озер Шпицбергена выделяется группа озер, которые образовались на ранних этапах дегляциации архипелага. Эти озера расположены за пределами конечных морен (гряд) Малого ледникового периода. В период

максимума развития ледников озера контактировали с ними, занимая приледниковые котловины, образованные в прошлом. Условно мы обозначили их как конечно-моренные озера. В настоящее время КМО примыкают к конечным моренам, а в отдельных случаях, при частичном разрушении моренной гряды, входят в пределы моренных комплексов. По материалам НПИ, некоторые из них существовали до 1936 г. Все КМО перехватывают ледниковый сток, поэтому, так же как и озера типов КЛО и МПО, они являются ловушками для ледниковых наносов. КМО наименее многочисленны, их общая площадь составляет лишь 13 км² (см. табл. 1). Наибольшее число КМО встречается на территории полупокровного оледенения, где крупные горно-долинные ледники выработали троговые долины со сложными моренными комплексами. На периферии покровного оледенения эти озера встречаются редко.

Распределение приледниковых озер на территории архипелага в соответствии с административным делением Шпицбергена по Землям показано на рис. 4, а. В границах Земель было выделено три области с преимущественным типом оледенения: покровное, полупокровное и горное. Горное оледенение представлено ледниками, изолированными друг от друга хребтами и долинами. Покровное оледенение представляет собой единые массивы льда – ледниковые купола, полно-

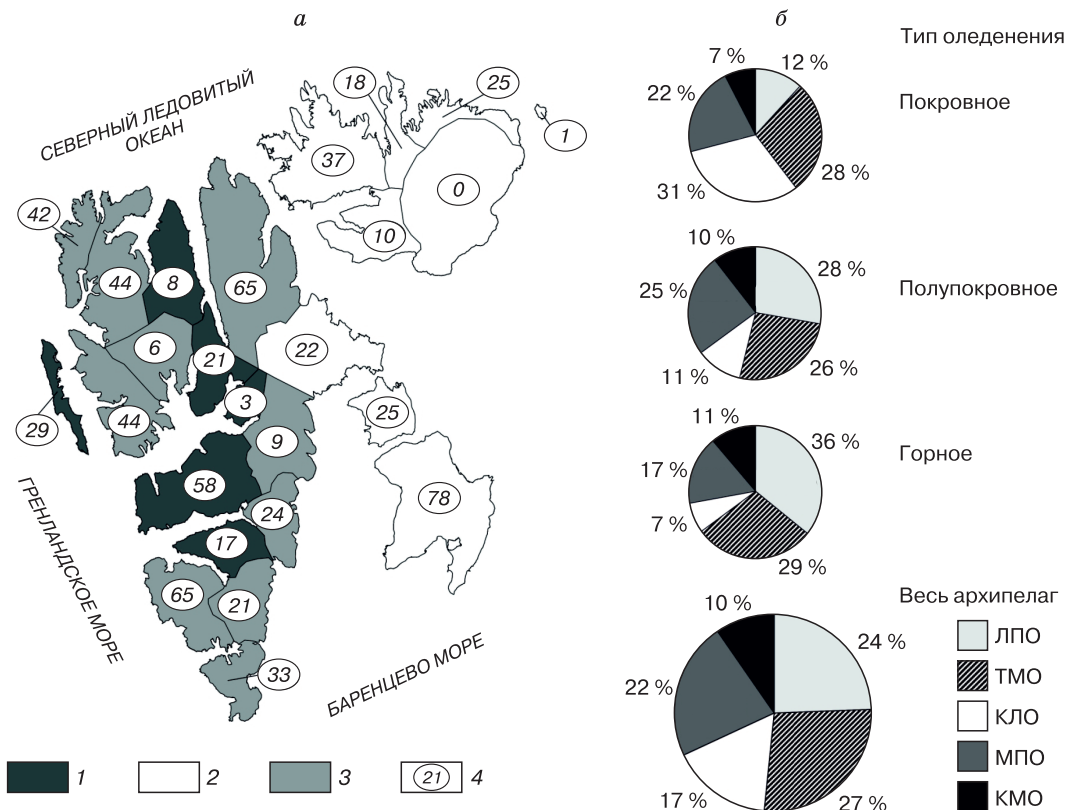


Рис. 4. Области с различным типом оледенения (а) и соотношение типов приледниковых озер в различных частях Шпицбергена (б).

1 – горное оледенение, 2 – покровное, 3 – полупокровное; 4 – количество приледниковых озер в границах Земель.

стью покрывающие коренные породы. Полупокровное оледенение Шпицбергена сочетает признаки горного и покровного оледенения. Темпы сокращения ледников в этих областях заметно различаются, особенно в западной и северо-восточных областях. Предположительно, различия в климате и типе оледенения будут проявляться в характере формирования приледниковых озер. Однако результаты исследования показали, что на выделенных территориях складывается подобная друг другу структура типов озер. Соотношение количества озер для этих областей и всего архипелага представлено на диаграммах рис. 4, б.

Различия между областями покровного и полупокровного оледенения оказались минимальными, особенно для озер типов КМО, ТМО и

ЛПО. Лишь количество моренно-подпрудных озер в области покровного и горного оледенения заметно различно. Количество и площадь озер, доля контактных и подпруженных озер, а также характер оледенения приведены в табл. 2. Выявленные различия показывают, что доля контактных с ледниками озер пропорциональна масштабу оледенения. В области горного оледенения они составляют менее одной трети. Напротив, подпруженные озера встречаются чаще в области горного и полупокровного оледенения, т. е. они характерны для о. Шпицберген и Земли Принца Карла (западный остров архипелага). Как подпруженные, так и контактные озера составляют около половины озер на территории полупокровного оледенения, что характерно также для архипелага в целом.

Таблица 2. **Количество и площадь приледниковых озёр на территории горного, полупокровного и покровного оледенения Шпицбергена**

Тип оледенения на территории архипелага	Количество озер	Площадь озер, км ²	Доля озер в контакте с ледниками, %	Доля подпруженных озер, %	Площадь территории, км ²	Площадь ледников на территории, км ²	Доля площади, занятой ледниками, %
Покровное	216	79.9	57	34	24 671	17 405	64.5
Полупокровное	353	96.3	48	53	24 400	14 783	60.4
Горное	136	10.8	33	53	10 182	2461	26.6

Важно отметить, что их суммарная площадь составляет 90 % площади приледниковых озер и около половины площади всех озер архипелага [Чернов, Ромашова, 2023]. Поэтому архипелаг Шпицберген можно уверенно назвать архипелагом ледниково- и моренно-подпрудных озер, что не характерно для Арктики в целом.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По состоянию на 2008–2012 гг. всего на Шпицбергене насчитывается около 3790 озер различного генезиса размерами более 0.01 км² [Чернов, Ромашова, 2023]. Приледниковые озера составляют лишь 18 % их количества. Большинство приледниковых озер образовалось за последние 80 лет, и их число продолжает увеличиваться. Для оценок озерного фонда архипелага значение этих озер оказывается важным, так как их суммарная площадь составляет около половины площади всех озер. На рис. 4, а видно, что распределение озер по Землям крайне неравномерное, особенно в отношении площади территории. Наибольшее количество озер наблюдается в центральной части Шпицбергена и на о. Эдж. Эти территории активно осваиваются туризмом, здесь расположены арктические поселки и станции, поэтому приледниковые озера, особенно наиболее крупные среди них, являются важными объектами наблюдений в будущем, как в научном аспекте, так и в практическом. Эти озера могут быть источниками пресной воды. Кроме того, ЛПО и МПО несут потенциальную опасность при прорывах, с учетом того, что многие из них значительно превышают по размерам подобные водоемы в горных районах Земли.

В отличие от существующих классификаций ледниковых озер горных стран, предложенная классификация выделяет лишь пять типов приледниковых озер, но не оставляет какого-либо количества объектов неопределенных типов. Так как классификация построена на морфологических признаках положения озер относительно границ ледника и его морен, то она отражает процесс формирования приледниковых озер в ходе дегляциации территории. В предложенной зарубежной классификации [Wieczorek et al., 2022] рассматриваются лишь те озера, которые имеют контакт с ледниками в текущий момент. Как отмечалось ранее, контакт с ледником является достаточно изменчивым признаком в зависимости от условий летнего таяния и устойчивости моренных дамб. В разные годы и даже в течение одного сезона одни и те же озера могут терять контакт с ледниками при их спуске и вновь его обретать при повышении их уровня. Также инвентаризация озер на основе признака подпруживания оставляет множество озер без определенного типа.

Иной подход к классификации озер Шпицбергена на основе показателя цвета воды и ее про-

зрачности был предложен в работе [Urbański, 2022]. Прозрачность воды указывает на интенсивность твердого стока в озеро. В нашем случае термокарстовые озера на моренах отличаются прозрачностью воды при отсутствии постоянного стока в них. Другие типы озер являются проточными, так как они перехватывают ледниковый сток, поэтому вода в различной степени замутненная. Отметим, что цвет воды в озерах может определять состав горных пород, лежащих под ледниками. Так, одно из крупнейших озер Шпицбергена – Требр (Земля Джеймса I) – имеет насыщенный красно-бурый цвет воды, в отличие от всех прочих озер Шпицбергена.

Рассмотренная классификация приледниковых озер опирается на логическую схему положения озер относительно границ ледника и его конечной морены. Предложенные признаки, связанные со схемой, выявляются дистанционными методами. В перспективе использование схемы и признаков позволит автоматизировать поиск и типизацию озер с помощью ГИС-методов. Это открывает новые методы исследования приледниковых озер арктических архипелагов как объектов климатических изменений.

ВЫВОДЫ

Представлена классификация приледниковых озер, которые образовались после Малого ледникового периода в связи с сокращением оледенения Шпицбергена. Приледниковые озера формируются в процессе отступления ледников на освобождаемых ото льда территориях. Для их идентификации важно текущее положение границы ледника и границы его конечной морены. С целью дистанционного определения приледниковых озер и их типов было выделено три морфологических признака, непосредственно связанных с этими границами: принадлежность к территории моренных комплексов, контакт с границей (ледника или морены) и условие подпруживания у границы. Сочетание трех признаков определило пять типов приледниковых озер. Они не только различаются по своему характерному местоположению, но и имеют морфометрические отличия и разную динамику.

По состоянию на 2012 г. среди 705 приледниковых озер выявлено: 157 (22 %) ледниково-подпрудных озер (ЛПО), 172 (24 %) моренно-подпрудных озер (МПО), 116 (16 %) озер, имеющих контакт с фронтом ледника (КЛО), 192 (28 %) термокарстовых озер на морене (ТМО) и 68 (10 %) озер, расположенных за пределами моренного комплекса, но контактирующих с конечной мореной (КМО).

Несмотря на различия в рельефе, типе оледенения, климате и темпах сокращения оледенения, соотношения типов озер оказались подобными в

различных частях архипелага, что указывает на общий генезис их формирования и схожие черты ландшафта.

Лишь с озерами типа МПО и КЛО связаны различия территорий. В области горного и полупокровного оледенения преобладают моренно-подпрудные озера. Для территорий покровного оледенения характерны озера, имеющие контакт с ледником, но не подпруженные. Вероятно, по мере дегляциации Шпицбергена распределение типов приледниковых озер будет сохраняться, что позволяет проводить оценки озерных ресурсов. Классификация выделяет типы потенциально опасных озер, таких как ледниково-подпрудные (ЛПО) и объекты климатического мониторинга (МПО и КЛО).

Благодарности. Разработка классификации приледниковых озер Шпицбергена и анализ данных выполнены при поддержке РФФ (грант № 23-27-00312 “Формирование приледниковых озер архипелага Шпицберген в условиях изменения климата”).

Литература

- Пряхина Г.В., Кузнецова М.Р., Зелепукина Е.С. и др. Типизация озёр оазисов Восточной Антарктиды // Изв. РАН. Сер. геогр., 2023, т. 87, № 5, с. 735–751.
- Ромашова К.В., Чернов Р.А. О формировании новых приледниковых озёр в бассейне залива Грёнфьорд (Шпицберген) в 1938–2010 гг. // Лед и снег, 2022, т. 62, № 2, с. 193–202.
- Рянжин С.В., Субетто Д.А., Кочков Н.В. и др. Полярные озера Мира: современные данные и состояние исследований // Вод. ресурсы, 2010, т. 37, № 4, с. 387–397.
- Чернов Р.А., Муравьев А.Я. Современные изменения площади ледников западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) // Лед и снег, 2018, т. 58, № 4, с. 462–472.
- Чернов Р.А., Ромашова К.В. Современное состояние приледниковых озёр архипелага Шпицберген // Криосфера Земли, 2022, т. XXVI, № 1, с. 36–45.
- Чернов Р.А., Ромашова К.В. Крупные приледниковые озера архипелага Шпицберген: их состояние в 2008–2012 гг. и динамика с 1991 по 2022 г. // Лед и снег, 2023, т. 63, № 4, с. 525–539.
- Harrison S., Karge J.S., Hugge C. et al. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods // Cryosphere, 2018, vol. 12, p. 1195–1209.
- Kohler J., James T.D., Murray T. et al. Acceleration in thinning rate on western Svalbard glaciers // Geophys. Res. Lett., 2007, vol. 34 (18), L18502. DOI: 10.1029/2007GL030681.
- Norwegian Polar Institute's topographical Svalbard map service [электрон. ресурс]. <https://toposvalbard.npolar.no/> (дата обращения: 09.01.2023).
- Nuth C., Kohler J., König M. et al. Decadal changes from a multi-temporal glacier inventory of Svalbard // Cryosphere, 2013, vol. 7, p. 1603–1621.
- Pfeffer W.T., Arendt A.A., Bliss A. et al. The Randolph glacier inventory: A globally complete inventory of glaciers // J. Glaciol., 2014, vol. 60, No. 221, p. 537–552.
- Pi X., Luo Q., Feng L. et al. Mapping global lake dynamics reveals the emerging roles of small lakes // Nat. Commun., 2022, vol. 13, p. 5777. DOI: 10.1038/s41467-022-33239-3.
- Urbański J.A. Monitoring and classification of high Arctic lakes in the Svalbard Islands using remote sensing // Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform., 2022, vol. 112, p. 102911. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102911.
- Wieczorek I., Strzelecki M., Stachnik L. et al. Inventory and classification of the post Little Ice Age glacial lakes in Svalbard // Cryosphere. Discussions, 2022. DOI: 10.5194/tc-2021-364.
- Pryakhina G.V., Kuznetsova M.R., Zelepukina E.S. et al. Typization of Lakes of the East Antarctica Oases. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya [New of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2023, No. 87 (5), p. 735–751. DOI: 10.31857/S2587556623050060.
- 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, vol. 62, No. 2, p. 193–202.
- Ryanzhin 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, vol. 37, No. 4, p. 387–397.
- 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, vol. 58, No. 4, p. 462–472.
- Chernov R.A., Romashova K.V. Current state of proglacial lakes on Svalbard. Earth's Cryosphere, 2022, vol. XXVI, No. 1, p. 32–39.
- Chernov R.A., Romashova K.V. Large periglacial lakes on the Spitsbergen (Svalbard): State in 2008–2012 and Dynamics in 1991–2022. Led i Sneg [Ice and Snow], 2023, vol. 63, No. 4, p. 525–539.
- Harrison S., Karge J.S., Hugge C. et al. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods. Cryosphere, 2018, vol. 12, p. 1195–1209. DOI: org/10.5194/tc-12-1195-2018.
- Kohler J., James T.D., Murray T. et al. Acceleration in thinning rate on western Svalbard glaciers. Geophys. Res. Lett., 2007, vol. 34 (18), L18502. DOI: 10.1029/2007GL030681.
- Norwegian Polar Institute's topographical Svalbard map service. – URL: <https://toposvalbard.npolar.no/> (last visited: 09.01.2023).
- Nuth C., Kohler J., König M. et al. Decadal changes from a multi-temporal glacier inventory of Svalbard. Cryosphere, 2013, vol. 7, p. 1603–1621.
- Pfeffer W.T., Arendt A.A., Bliss A. et al. The Randolph glacier inventory: A globally complete inventory of glaciers. J. Glaciol., 2014, vol. 60, No. 221, p. 537–552. DOI: 10.3189/2014JoG13J176.
- Pi X., Luo Q., Feng L. et al. Mapping global lake dynamics reveals the emerging roles of small lakes. Nat. Commun., 2022, vol. 13, p. 5777. DOI: 10.1038/s41467-022-33239-3.
- Urbański J.A. Monitoring and classification of high Arctic lakes in the Svalbard Islands using remote sensing. Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform., 2022, vol. 112, p. 102911. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102911.
- Wieczorek I., Strzelecki M., Stachnik L. et al. Inventory and classification of the post Little Ice Age glacial lakes in Svalbard. Cryosphere. Discussions, 2022. DOI: 10.5194/tc-2021-364.

Поступила в редакцию 16 апреля 2024 г.,
после доработки – 14 июня 2024 г.,
принята к публикации 24 августа 2024 г.