

ОЗЕРО СПАРТАКОВСКОЕ – ИСЧЕЗАЮЩИЙ ПРИЛЕДНИКОВЫЙ ВОДОЁМ МАЛОГО ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА НА АРХИПЕЛАГЕ СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

© 2025 г. Д. Ю. Большианов^{1,*}, А. С. Парамзин¹, И. С. Ёжиков¹, И. Д. Коблашов¹,
А. О. Аксенов¹, В. А. Меркулов¹, С. В. Хотченков¹, В. Т. Соколов¹,
А. А. Ньюбом¹, Н. Л. Секисов¹, Д. В. Бердинских²

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: bolshiyanov@aari.ru

Поступила в редакцию 25.06.2024 г.

После доработки 26.12.2024 г.

Принята к публикации 18.04.2025 г.

Приледниковое озеро Спартаковское на о. Большевик архипелага Северная Земля периодически (раз в 5–10 лет) сбрасывает воду по внутриледниковым каналам через плотину перегораживающего фиорд выводного ледника. Вследствие отступления ледника и окончания малого ледникового периода эпизоды быстрого опорожнения озёрной ванны будут происходить чаще. Слежение за жизнью озера важно для гляциологических и климатических исследований.

Ключевые слова: приледниковое озеро, спуски озёрных вод, донные отложения, деградация ледников малого ледникового периода, Северная Земля

DOI: 10.31857/S2076673425020102, **EDN:** FOHIYR

ВВЕДЕНИЕ

Приледниковые озёра архипелага Северная Земля разнообразны по своему положению относительно ледников. Все они определены строением рельефа и заполняют его понижения. В одних случаях озёра располагаются на некотором удалении от ледников. Таково наиболее изученное озеро Изменчивое в юго-западной части о. Октябрьской Революции. Оно располагается в древней карстовой депрессии на высоте 6 м над ур. моря в 4 км к югу от ледника Вавилова, который и является основным питающим озеро источником воды. Его донные отложения служат хорошим показателем колебаний климата последних тысячелетий, и в него около 2000 лет назад проникали воды морской трансгрессии (Большианов, 1985, 2006; Палеоклимат..., 2019). Несколько озёр архипелага подпружены ледниковыми краями. Таковы озёра Географов и Угловое, подпёртые лопастью выводного ледника, выдающегося в бухту на юго-западе ледника Академии Наук (о. Комсомолец). Такие же озёра,

запруженные выводными ледниками, располагаются в центре о. Октябрьской Революции. Это озёра Острое и Фиордовое, отгороженные от фиорда Марата выводными ледниками, стекающими к югу с ледникового купола Карпинского. Озеро Фиордовое имеет площадь 39.5 км², измеренные глубины до 97 м (Большианов, Макеев, 1995). Геоморфологическое картирование, проведённое в конце XX столетия (Большианов, Макеев, 1995), выявило перехваты рек в результате подпруживания приледниковых водоёмов и изменения направления их стока. Так, озеро Фиордовое, образовавшееся перед ледниковой преградой в эрозионных долинах и фиорде Марата, дало начало стоку воды в р. Озёрную. Судя по разработанности долин, сток неоднократно изменял направление — то в сторону пролива Шокальского, то на юг о. Октябрьской Революции. Основной причиной изменений направления стока рек были и сейчас остаются этапы запруживания долин и фиордов выводными ледниками. Последнее событие появления многочисленных приледниковых озёр на Северной

Земле связано с разрастанием ледников малого ледникового периода (далее — МЛП), имевшего место на архипелаге в течение примерно 400 лет. МЛП начался в XVI в., самое холодное время было около 1600 г., а закончился он лишь в XIX столетии (Большиянов, Макеев, 1995). Тогда изменение среднеиюльской температуры воздуха от современной средней температуры июля 1.5 °С лишь на полградуса в сторону похолодания (Палеоклимат..., 2019) вызвало значительные перестроения в ледниковом покрове архипелага и до сих пор влияет на приледниковые ландшафты. Кроме разрастания ледниковых куполов и пассивных ледников (Большиянов, 2006) выводные ледники МЛП перегородили часть фиордов, которые стали пресноводными приледниковыми озёрами. Они существовали на всех островах архипелага. К настоящему времени, а точнее в начале XX века, исчезли приледниковые озёра в бухтах Красной и Сказочной на о. Октябрьской Революции, так как отступившие выводные ледники перестали перегораживать долины-фиорды. Но до сих пор существует крупнейший приледниковый водоём архипелага — озеро Фиордовое на о. Октябрьской Революции, стратифицированные донные отложения которого содержат информацию о 350—400 годах его существования (Макеев, 1983; Большиянов, Макеев, 1995; Bolshiyarov et al., 1997). Озёра Изменчивое и Фиордовое с изученными донными отложениями показали возраст и условия протекания МЛП на Северной Земле. В связи с возобновлением работы Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (далее — ААНИИ) на Северной Земле в 2013 г. (Большиянов, Булатов, 2014) ещё одно приледниковое озеро Спартаковское попало в сферу интересов гляциологических и гидрологических исследований на о. Большевик в условиях современной деградации ледников (Говоруха и др., 1987), разраставшихся в течение МЛП.

Цель статьи — предоставление читателям натурных данных о режиме периодически спускающегося озера, строении его долины и донных отложений, особенностях запруживающего озера ледника, гидрологических характеристик вод и тенденциях развития озера в многолетнем плане.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ОЗЕРА И ИСТОРИЯ ЕГО ИЗУЧЕНИЯ

Приледниковое озеро Спартаковское (78°56'33.4" с.ш., 101°50'54.7" в.д.) расположено в северо-западной части острова Большевик

и представляет собой восточную часть морского фиорда, перегороженного выводным ледником, спускающимся на север с ледникового купола Семёнова-Тян-Шанского (рис. 1). Озеро имеет длину около 5.5 км и ширину до 1200 м при высоком уровне воды. Глубина озера у плотины перегораживающего ледника — 130—140 м (при отметке уровня воды в озере 100 м над ур. моря). Колебания уровня воды в озере в прошлом были отмечены при более ранних исследованиях архипелага (Большиянов, Макеев, 1995). Однако тогда казалось, что эти колебания происходили несколько столетий назад. В первый раз признаки недавнего спуска озера наблюдались в 2015 г., когда гляциологическая группа с обсерватории ААНИИ “Ледовая база Мыс Баранова”, пробиравшаяся через озеро с целью подъёма на ледник Семёнова-Тян-Шанского.

Тогда на склонах самой озёрной ванны и в долинах притоков озера были встречены айсберги разных размеров, а склоны были испещрены уровнями береговых линий быстро исчезнувшего водоёма. Именно тогда была поставлена задача проследить изменения уровня озера, для чего в 2016 г. при высоком стоянии уровня водоёма были оборудованы скальные реперы и определены их высотные отметки с использованием спутникового геодезического оборудования Sokkia GRX-2. До этого в северо-западной части о. Большевик все научно-исследовательские работы на ледовой базе “Мыс Баранова” (ААНИИ) базировались на пунктах спутниковой геодезической сети сгущения (далее — СГС), созданной для обеспечения исследований высотными отметками в Балтийской системе высот 1977 г. СГС развивалась от пунктов государственной геодезической сети (далее — ГГС), представленной пунктами триангуляции 2 и 3 классов. Привязки по высоте уровней оз. Спартаковского приведены к измеренному 9 июля 2018 г. среднему уровню моря в фиорде Спартак. В балтийскую систему высот (далее — БСВ) эта отметка не пересчитывалась, так как данных для пересчёта по ближайшим пунктам геодезической сети было недостаточно. Наблюдения за уровнем моря в районе НИС в БСВ показывают, что уровень моря в течение года колеблется в пределах абсолютных отметок от –10 до +30 см. Можно констатировать, что уровень моря в фиорде Спартак совпадает с БСВ ± 0.5 м. Для наших измерений этой точности достаточно.

В мае 2016 г. уровень озера, оказавшийся на отметке 120 м над ур. моря, ясно показал современные колебания уровня водоёма хотя бы даже

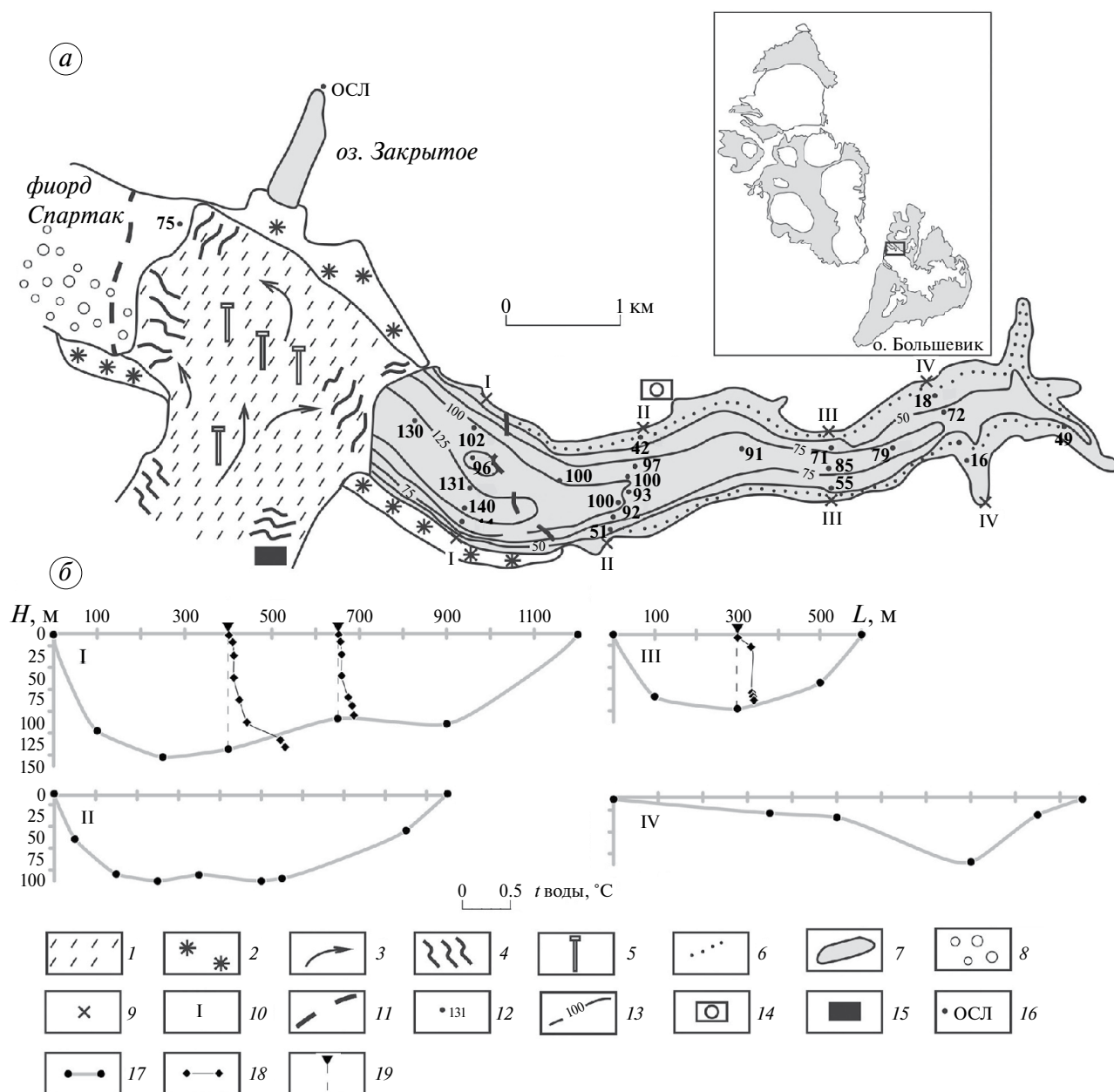


Рис. 1. Схема приледникового Спартаковского озера (а), промерные профили в озере с гидрологическими вертикалями (б) при уровне озера 100 м над ур. моря в мае 2021 г.

1 – выводной ледник; 2 – пассивный ледник; 3 – направления движения льда; 4 – трещины в леднике; 5 – ледомерные вехи, имевшие в 2016 г. высотные отметки 141, 142, 139 м н.у.м. с запада на восток и 261 м в верхней части выводного ледника; 6 – береговая линия озера в июле 2017 г. после его спуска в 2016 г.; 7 – приледниковое озеро; 8 – шлейф слегка мутной воды во фиорде, видимый на космическом снимке, выполненном 27.08.2021 г. сразу после спуска озера; 9 – начальные точки промера озера в мае 2021 г.; 10 – номер промерного профиля; 11 – граница выводного ледника по карте 1982 г.; 12 – глубина в точке промера; 13 – изобата; 14 – место установки фотокамеры; 15 – место установки сейсмографа; 16 – место отбора пробы морских отложений для датирования их методом ИК-ОСЛ; 17 – профиль дна и точки промера; 18 – температурная кривая воды; 19 – гидрологическая вертикаль

Fig. 1. Sketch map of the Spartakovskoye Lake (a), measurement profiles with hydrological observation points (b) at the lake level of 100 m a.s.l. in May 2021.

1 – outlet glacier, 2 – passive glacier, 3 – ice flow directions, 4 – cracks in glacier, 5 – ice stakes, which in 2016 had elevations 141, 142, 139 m a.s.l. from west to east and 261 m in the upper part of the outlet glacier, 6 – lake shoreline in July 2017, 7 – periglacial lake, 8 – slightly turbid water in fjord just after drainage of the lake in 27.08.2016, 9 – starting points of lake sounding in May 2021, 10 – number of sounding profile, 11 – outlet glacier outline on the map of 1982, 12 – depth of sounding point (m), 13 – isobaths, 14 – location of the camera, 15 – site of marine sediments sampling for IR-OSL dating, 16 – site of IR-OSL dating, 17 – bottom profile with sounding points, 18 – water temperature curve, 19 – hydrological observation points

при сравнении с картой 1982 г., на которой урез воды в озере был зафиксирован на высоте 89 м над ур. моря (Топографическая карта масштаба 1:200 000, Т-47-Х, XI, XII, 1992, состояние местности на карте 1982 г.). В конце августа 2016 г. водоём был частично спущен, что было замечено при посещении озера в 2017 г. С 2018 г. несмотря на трудности достижения озера, в том числе из-за его спуска в 2016 г., начались регулярные посещения озера для измерения уровня воды. Гляциологические наблюдения проведены в 2016 г. на выводном леднике путём установки ледомерных и скоростных вех и измерения их положения геодезическим путём. В мае 2016 г. на выводном леднике был установлен сейсмограф, который в течение 9 дней отмечал подвижки ледника и, в частности, шум текущей по внутриледниковым каналам воды. Был организован отбор колонок донных отложений из озера, в 2021 г. проведены гидрологические измерения и промер озера, а также наблюдения с помощью подводных аппаратов за перегораживающим озеро ледником со стороны моря. В 2021 г. в предвидение ближайшего спуска водоёма на северном склоне озёрной котловины устанавливалась фотокамера, которая зафиксировала это событие ежечасными снимками, что позволило определить время и темпы спуска воды из озера, а также заметить некоторые особенности обнажившихся склонов озёрной котловины. В 2022 и 2023 гг. продолжились измерения уровня воды наполнявшегося озера.

Первичные результаты исследования спуска воды из озера в 2016 г. были изложены в статье (Парамзин и др., 2017). Результаты спуска озера в 2016 и 2021 гг. исследованы по спутниковым снимкам и описаны гляциологами Института географии РАН (Чернов, Муравьёв, 2020; Муравьёв, Чернов, 2023).

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ОЗЁРНОЙ ВАННЫ И ЗАПРУЖИВАЮЩЕГО ЛЕДНИКА

Озеро Спартакское занимает лишь четвертую часть фьорда Спартак, который имеет длину до 23 км и представляет собой корытообразную в поперечном профиле тектоническую долину, террасированную на более ранних этапах развития рельефа. Западная часть фьорда характерна крутыми склонами, которые в пределах долины также запружены озера Закрытого (см. рис. 1) осложнены чётко выраженной террасой на высоте 40–50 м. Сложенная гравийно-щебнистым обломочным материалом и алевритом

желтовато-серого цвета, эта терраса представляет собой аккумулятивное морское образование возрастом 29.5 ± 2.0 тыс. лет, что определено методом инфракрасной оптико-стимулированной люминесценции (ИК-ОСЛ) в лаборатории GeoAge (Таллинн, Эстония, лаб. № образца RLQG 2642-060).

В восточной кутовой части фьорда хорошо выражена абразионная морская терраса высотой 100–120 м, подчёркнутая желтовато-серым цветом современных отложений озера, уровень которого периодически поднимался до 120–125 м над ур. моря (рис. 2, а). Предшествующими геоморфологическими исследованиями и изучением четвертичных отложений архипелага Северная Земля 40–50-метровая терраса отнесена к каргинскому, а 120-метровая терраса — к казанцевскому времени позднего неоплейстоцена (Большиянов, Макеев, 1995).

Промеры озера выполнялись 4, 5 и 16 мая 2021 г. со льда при отсутствии стока воды и неизменном уровне воды в озере, что было подтверждено геодезическими измерениями во время промерных работ. Выполнено пять промерных профилей, из них четыре поперечных и один продольный. Промеры на поперечных профилях делались с шагом 100 м, на продольном посередине между поперечных профилей в среднем через 700 м (см. рис. 1). Точки промеров и уровень воды в озере привязывались в плане в системе координат WGS-84 и по высоте относительно уровня моря спутниковым геодезическим оборудованием Sokkia GRX-2 к геодезической сети, созданной в виде скальных реперов на северном берегу озера. Промеры глубин выполнялись с применением размеченного через 1 м троса и лебёдки.

Выполненные промеры (см. рис. 1) показали, что в районе перегораживающего фьорд ледника со стороны озера отметки дна его долины лежат на 40–50 м ниже уровня моря.

Для расчёта морфометрических показателей озера использовались данные промеров глубин, выполненных по пяти профилям, а также спутниковые данные. Береговая линия дешифрирована по спутниковым снимкам сервиса World Imagery ArcGIS, полученным в 2020 г. с разрешением 1.2 м, в программном обеспечении ESRI ArcGIS Pro. Следующим шагом стало построение цифровой батиметрической модели озера путём интерполяции методом кригинга имеющихся значений промеров глубин и изобат в программном обеспечении Surfer 13



Рис. 2. Восточная кутовая часть Спартаковского озера во время заполнения котловины в 2023 г. после спуска озера в 2021 г.: (а) в этой части озёрной котловины хорошо развита морская терраса казанцевского возраста, отмеченная желтовато-серыми примазками озёрных отложений; (б) чёрные айсберги и фрагменты каналов стока вод в айсбергах, выработанных в теле выводного ледника во время спуска озера в 2021 г. Фото А.С. Парамзина, 2023 г.

Fig. 2. Eastern part of Spartakovskoye Lake during filling in 2023 after draining in 2021: (a) Late Pleistocene (Kazantsevo age) marine terrace, marked by yellow-greyish lake sediments in the fjord valley; (b) black icebergs and fragments of water flow tunnels in icebergs developed in the body of the outlet glacier during the lake drainage in 2021. Photo by A.S. Paramzin, 2023

Golden Software. В результате получена матрица (грид) с размером ячейки 50×50 м (1990 значений). На основе этих данных рассчитаны площадь, объём, длина береговой линии, средняя и максимальная глубины озера при уровне 100 м над ур. моря в 2021 г. (табл. 1).

Перегораживающий фиорд выводной ледник на топографической карте 1982 г. имел ширину до 4,5 км, в настоящее время (2023 г.) он сократился до 3 км. Ледник состоит из движущихся во фиорд и в озеро активных частей и пассивных составляющих, отделяющих его от склонов долины фиорда. В пассивных частях ледник потерял движение, на севере он наращивает высоту за счёт подпора со стороны выводного ледника и современного снегонакопления, из-за чего сформировалась в целом вогнутая форма поверхности ледника. По пассивным частям ледника на него попадает обломочный материал со склонов фиорда в результате осыпания материала и выноса его талыми

водами, отчего краевые части ледника содержат значительное количество обломочного материала. На южных склонах озёрной котловины остались лишь фрагменты пассивного ледника. Выводной ледник, таким образом, имел высоту седловины в осевой части 140–141 м, которая измерена геодезическим способом при постановке вех в 2016 г. (см. рис. 1). В следующем сезоне после спуска озера и подвижек ледника вех на нём не обнаружено.

Таблица 1. Морфометрические показатели Спартаковского озера в 2021 г.

Площадь озера, км ²	5.03
Объём озера, км ³	0.32618
Длина береговой линии, км	19.70
Глубина средняя, м	65.56
Глубина максимальная, м	140

Выводной ледник полностью лежит на дне фиорда, что показывает его форма, характер откола айсбергов и непосредственные подводные наблюдения со стороны фиорда (постановка гидролокатора на глубине 28 м на акватории фиорда в точке с глубиной 75 м (см. рис. 1). Измеренные глубина и высота выводного ледника в его осевой части свидетельствуют о том, что толщина ледника составляет не менее 180–190 м.

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД

Измеренные СТД-зондом SBE19plus в мае 2021 г. температуры воды в озере показали низкие значения. Результат был получен только на трёх вертикалях, на которых удалось избежать обмерзания прибора во время пребывания его на воздухе. Вода в озере переохлаждена и подо льдом толщиной до 2 м, имела температуру 0.02–0.03 °С и только на глубине 69 м достигала величины 0.1 °С (см. рис. 1). На гидрологической вертикали первого промерного профиля, у дна (128 м) температура воды достигла 0.6 °С, и прогрета до 0.3 °С на глубине 115 м, что обусловлено потоком тепла из недр Земли в зоне тектонического разлома, по которому заложены фиорд Спартак и озеро Спартаковское. На меньших глубинах того же промерного профиля этот эффект выражен слабее — у дна (96 м) вода прогревается лишь до 0.17 °С. На третьем промерном профиле температура воды подо льдом была равной 0.15 °С, у дна (85 м) — 0.18 °С. Прогрев воды у дна, указывает на тепловой поток из недр Земли и существование под дном озёрной котловины ограниченного сквозного талика с очень небольшими, но положительными температурами пород.

Минерализация воды в озере колебалась в пределах значений 0.067–0.072 мг/л на всех выполненных гидрологических вертикалях.

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ОЗЕРЕ

В табл. 2 представлены все данные об уровне озера, которые получены прямым нивелированием уреза воды в озере от установленных на северном и южном берегах скальных реперов, привязанных через СГС к среднему уровню моря во фиорде Спартак.

Перед спуском озера в конце августа 2016 г. уровень воды по долине безымянной реки достиг водораздела с р. Базовой, который располагается на высоте 121.72 м, а на космических снимках

Таблица 2. Измеренные уровни Спартаковского озера в 2016–2023 гг.

№ п/п	Дата измерения	Время измерения, UTC	Отметка уровня воды, м над. ур. моря
1	03.05.2016	4:55	120.52
2	21.05.2018	7:00	~35.30
3	10.07.2018	15:30	47.21
4	30.07.2018	2:30	49.94
5	15.08.2018	6:00	55.84
6	09.09.2018	1:30	60.12
7	15.08.2019	19:43	76.26
8	24.08.2020	10:45	95.39
9	19.04.2021	12:25	99.46
10	11.08.2021	6:00	108.44
11	23.09.2021	6:30	8.921
12	25.07.2022	—	23.09
13	26.07.2022	—	24.80
14	30.07.2022	—	28.33
15	18.07.2023	13:30	39.92
16	20.09.2023	9:20	51.55

и во время посещения водораздела 16.08.2016 был виден уверенный перелив воды в р. Базовую — это означает, что уровень озера достиг отметок не менее 122 м. Максимальная высота основания айсбергов, вынесенных на склоны котловины озера, достигла почти 109 м. Геодезическими работами определено, что уровень озера в мае 2018 г. находился на отметке 35 м над ур. моря. Этими измерениями и наблюдениями по не очень качественным космическим снимкам предположено, что уровень воды в озере в 2016 г. был сработан до высот около 30±10 м над ур. моря.

В 2021 г. озеро в конце августа было спущено до отметок уровня 8.9 м над ур. моря с высоты более 108 м (измерена 11.08.2021), а по данным исследователей из ИГАН РАН сработка уровня началась с отметки 113 м (Муравьёв, Чернов, 2023). По косвенным данным, а именно по присутствию обломков озёрного льда в долине притока на высоте более 100 м (измерено геодезическим путём только до высоты 99.73 м) в конце

апреля 2021 г. обнаружилось, что уровень озера между августом 2020 г. и апрелем 2021 г. был выше измеренного 19.04.2021, и этот факт означает частичный спуск воды из озера, произошедший между 24.08.2020 и 19.04.2021 и понизивший уровень воды на несколько метров. Время этого частичного спуска удалось приблизительно определить при наблюдении айсбергов в районе обрыва выводного ледника в озеро. Айсберги при отрыве от ледника отплывали от него в восточном направлении, но тормозились ледовым покровом озера, который, судя по навалам озёрного льда перед дрейфовавшими айсбергами, имел толщину до 20 см. Такой толщины лёд в озере достигает в конце октября – начале ноября. По-видимому, в это время в октябре–ноябре 2020 г. и произошло событие откалывания небольшого количества айсбергов и частичной сработки уровня озера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТАНОВКИ НА ЛЕДНИК СЕЙСМОГРАФА

Сейсмографом, установленным в районе ледолома выводного ледника во фиорд Спартак (см. рис. 1), зафиксированы подвижки ледника, которые можно условно разделить на три типа (рис. 3). Первый тип – это отдельные единичные импульсы, возникшие в леднике и имевшие значение горизонтальных колебаний до 2.2 мм.

Второй тип – это серии от двух и более импульсов в течение нескольких часов со значениями колебаний до 1.5 мм. Третий тип – продолжительные высокочастотные колебания продолжительностью от 1 до 4 часов с амплитудой колебаний до 1.22 мм. Данные колебания 6–9 мая, в отличие от единичных импульсов, могут иметь происхождение, связанное с гидродинамическими процессами в самом леднике, т.е., возможно, что прибор зафиксировал сток воды по внутриледниковым каналам.

СПУСКИ ОЗЕРА В 2016 И 2021 гг.

В первый раз резкое изменение уровня воды в озере замечено летом 2017 г., а частичный спуск воды произошёл 25–27 августа 2016 г. Тогда в результате дешифрирования космических снимков удалось зафиксировать перетекание воды из озера в долину р. Базовой. Геодезические работы показали, что перелив воды произошёл при уровне воды в озере не менее 122 м над ур. моря.

Вода в озере накапливается в результате таяния ледников Семёнова-Тян-Шанского и Войцеховского и зависит от количества тепла летних сезонов. Так как аномально тёплые летние сезоны повторяются на Северной Земле через 5–10 лет, а между этими циклическими повторами затока тёплых воздушных масс на архипелаг

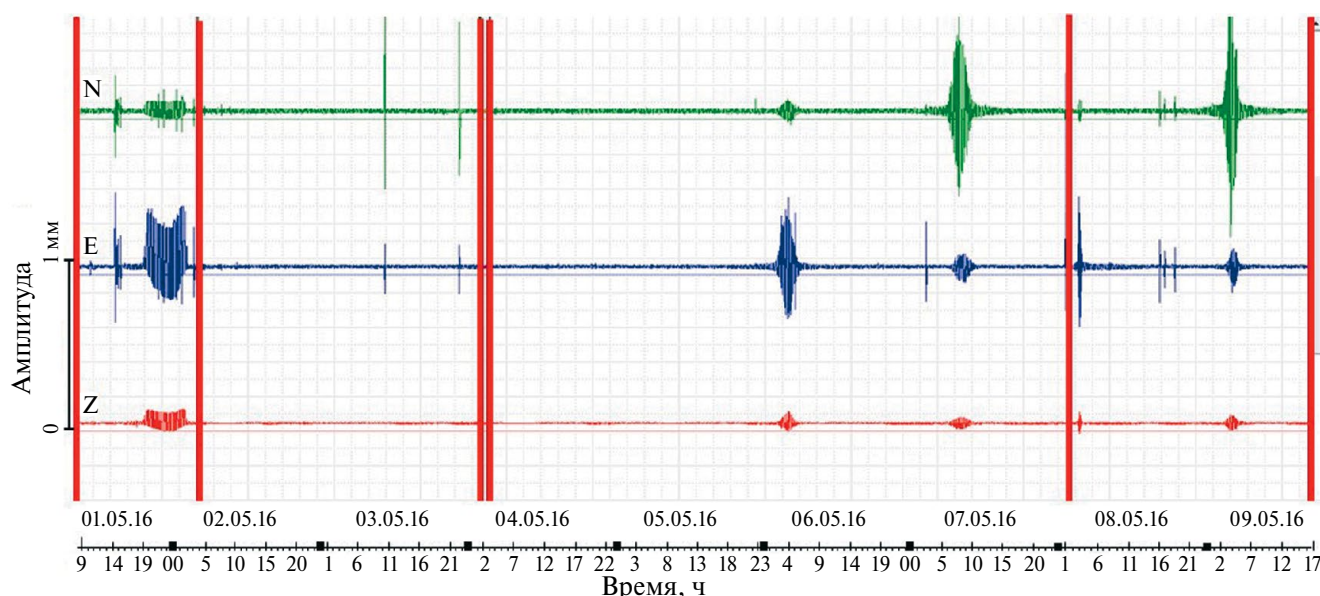


Рис. 3. Сигналы сейсмографа, зафиксировавшие подвижки ледника и, возможно, сток воды в леднике с 1 по 9 мая 2016 г.

Fig. 3. Seismograph signals that recorded glacier movements and, possibly, water flow inside the glacier from May 1st to May 9th of 2016

температуры воздуха значительно ниже (Большиянов, Макеев, 1995), то и накопление воды в озёрной ванне происходит не равномерно, а в зависимости от температур летних сезонов. Высокий уровень воды в озере служит необходимым фактором приведения в действие механизма прорыва вод сквозь ледник во фиорд Спартак. В предыдущие десятилетия он достигался примерно за 10 лет. После достижения максимального уровня воды часть выводного ледника, который обращён к озеру Спартаковскому и перегораживает путь воды к морю, всплывала под действием выталкивающей силы воды, которая пересиливала связи сцепления льда со льдом у дна озёрной котловины. Всплывшие и разрушенные айсберги в виде колец и каналов свидетельствуют о том, что в теле ледника есть туннели, по которым и происходит сток воды из озера (рис. 4).

При падении уровня воды многие каналы снова закрывались, имевшаяся в каналах вода снова замерзала, и озеро во время летних сезонов заполнялось талой водой. Во время опорожнения озёрной ванны большое количество айсбергов оседало на её дно и склоны, являя удивительную картину ледяного хаоса из невесть откуда взявшихся ледяных глыб в узких долинах притоков озера и на его крутых склонах при отсутствии воды в озере или при низких её уровнях (см. рис. 2, б).

После спуска озера в 2016 г. за ним начались более тщательные наблюдения: измерения уровня водоёма, промеры глубин, отбор донных озёрных отложений. Эти наблюдения дали возможность предвидеть следующий спуск воды, когда уровень достигал уже критических значений. Весенние наблюдения 2021 г. показали, что уровень воды в конце 2020 г., достигнув величины 105 м, немного (первые метры) упал в октябре–ноябре 2020 г. и в апреле 2021 г. оказался на высоте 100 м над ур. моря. Поставленная летом 2021 г. на бровке озёрной ванны фотокамера позволила зафиксировать событие практически полного спуска воды из озера 22–27 августа 2021 г. Ежечасная фиксация фотокамерой этого события выявила то, что озеро было спущено за 117 часов: 46 часов продолжалось слабо заметное падение уровня (сантиметры в час), но при этом наблюдалось движение айсбергов в сторону ледника; 14 часов — заметное падение уровня (дециметры в час); 57 часов — быстрое падение уровня (метры в час). Приблизительная оценка объёма воды в озере по результатам его весенних промеров (см. табл. 1) и знание продолжительности активного спуска воды из озера (57 часов) позволила путём деления объёма воды на продолжительность активного спуска оценить расход воды при сбросе вод озера. Он достигал величины порядка $1590 \text{ м}^3/\text{с}$. Несмотря на стремительный спуск воды сквозь ледник, на поверхности катастрофические изменения наблюдались только в виде разрушения края ледника, откалывания множества айсбергов, их движения в озере и оседания на его дно и склоны. Западная часть выводного ледника, которая лежит на морском

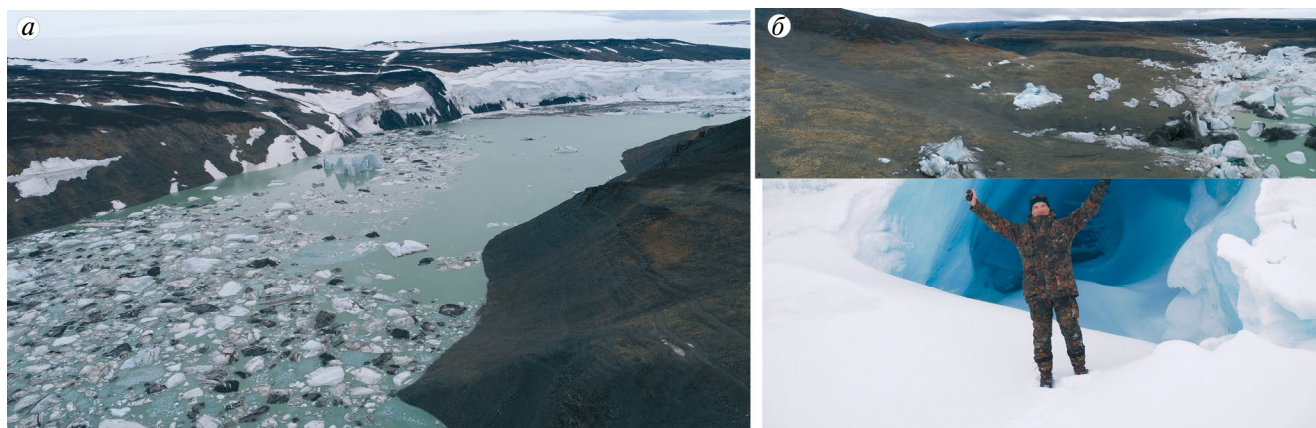


Рис. 4. Айсберг с овальными в сечении фрагментами каналов стока вод в 2023 г. (а); замёрзший канал в стенке обрыва ледника в апреле 2016 г. (б). Фото А.С. Парамзина, 2023 г., Д.Ю. Большиянова, 2016 г.

Fig. 4. Iceberg with oval cross-sectional fragments of water flow channels in 2023 (a); a refrozen tunnel in the glacier cliff wall in April 2016 (b). Photo by A.S. Paramzin, 2023, D.Yu. Bolshiyarov, 2016

дне, не претерпела значительных изменений. Исходя из наблюдений и фрагментов каналов стока вод, которые обнаруживаются в айсбергах (см. рис. 4), спуск воды из озера происходит по сети каналов в теле ледника без контакта с ледниковым ложем. То обстоятельство, что в августе 2021 г. озеро было спущено до отметки 8.9 м над ур. моря и у края ледника существовала линза воды толщиной до 50 м, подтверждает предположение об отсутствии стока воды во время опорожнения озера по ложу озера-фиорда. Вода стекала по туннелям, расположенным на высотах более 9 м над ур. моря со стороны озера.

В 2021 г. среди айсбергов, находившихся в озере и в одном из них, отколовшимся в море, обнаружены ледяные обломки с явными следами стока воды в виде борозд, напоминавших стиральную доску. Вероятно, это также следы канализованного стока воды в теле ледника.

Разгрузка вод во фиорд Спартак происходила в юго-западном углу выводного ледника у южного берега фиорда, где на снимке Sentinel-2 от 27.08.2021 чётко видна полоса взмученной воды шириной до 600 м (см. рис. 1). Мутность воды в этом потоке по цвету слабо отличалась от цвета морской воды фиорда, отчего можно сделать предположение об отсутствии прямого контакта потоков талой воды с ложем ледника, что не позволило им оказать заметное воздействие на дно и склоны фиорда. Пока механизм стока переохлаждённых озёрных вод сквозь холодный ледник не совсем понятен, нет объяснения и каналам на поверхности айсбергов.

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕРА И РЕЗКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ДНЕ ПОСЛЕ СПУСКА В 2021 г.

Во время высокого стояния уровня озера в 2021 г. грунтовыми трубками (UWITEC) удалось поднять короткие керны донных отложений (до 11 см). Они принесли информацию об условиях осадконакопления в приледниковом озере в последние десятилетия. Отложения представлены ленточными глинами, толщина годовых слоёв которых отражает количество приносимого в озеро обломочного материала. Слои состоят из пары прослоев — летнего алевроита светло-серого цвета с частицами гравия и мелкого щебня, и зимнего глинистого алевроита. На рис. 5 представлены снимок и рисунок колонки донных осадков, отобранных в точке с глубиной 131 м промерного профиля I (см. рис. 1). В зоне А насчитывается 15–16 предполагаемых годовых

слоёв отложений, их средняя толщина 1.5 мм. В верхней части зоны А толщина слоёв достигает 1 мм, но они прерываются серией из трёх слоёв толщиной 0.1–0.2 мм. В этой части зоны есть включения песчаных и мелких гравийных зёрен, которые внедрены в нижележащие слои.

Поскольку этих слоёв в самой верхней части насчитывается 4–5 и они внизу содержат гравий, можно считать, что эти слои накопились между 2016 и 2021 гг., когда случились достоверно известные события спуска озёрных вод. Ниже по разрезу насчитывается 10–11 более или менее равномерных по толщине слоёв (0.5 мм), которые откладывались в период 2016–2005 гг. Их нижняя граница отмечена разрывом сплошности в осадках и присутствием песчано-гравийных частиц. Из других источников известно (Муравьёв, Чернов, 2023), что спуск озера имел место и в 2006 г.

В зоне Б колонки отложений можно выделить 7–8 слоёв. В первые четыре года летние прослойки мощнее зимних, в нижней части соотношение толщин прослоев обратное. Средняя толщина слоёв 3.3 мм. В них много обломочного материала размерности песка (от 0.3 мм) и гравия (до 10 мм). Предположительный спуск озера произошёл в 1998–1999 гг.

В зоне В выделяются 6–8 слоёв толщиной от 0.5–1 до 2–3 мм. Они деформированы, но содержат меньше гравийных и песчаных частиц по сравнению с зоной Б. Предполагаемый спуск озера произошёл в 1990–1992 гг. По принятым предположениям о годовой слоистости осадков, прорывы озера происходили в последние десятилетия с периодичностью в 5–10 лет.

Спуск приледникового озера Спартаковского в 2021 г. обнажил дно (рис. 6, а), на котором в течение 2–3 столетий накапливались алевроитовые озёрные осадки, что следует из подсчётов годовых слоёв по фотографии (см. рис. 6, б), на которой изображён не полный разрез донных отложений озера. Течением воды при обнажении дна на озёрный осадок был снесён крупнообломочный материал (см. рис. 6, в). В течение двух летних месяцев (июль, август) 2022 г. дно котловины в результате эрозии талыми водами и аккумуляции крупнообломочного материала было покрыто обломками на всей не занятой пока водой площади при новом повышении уровня приледникового водоёма. Разрез осадков дна котловины стал состоять из потоковых галечно-гравийных масс (см. рис. 6, в). В течение этого кратковременного цикла осадконакопления в результате работы воды при

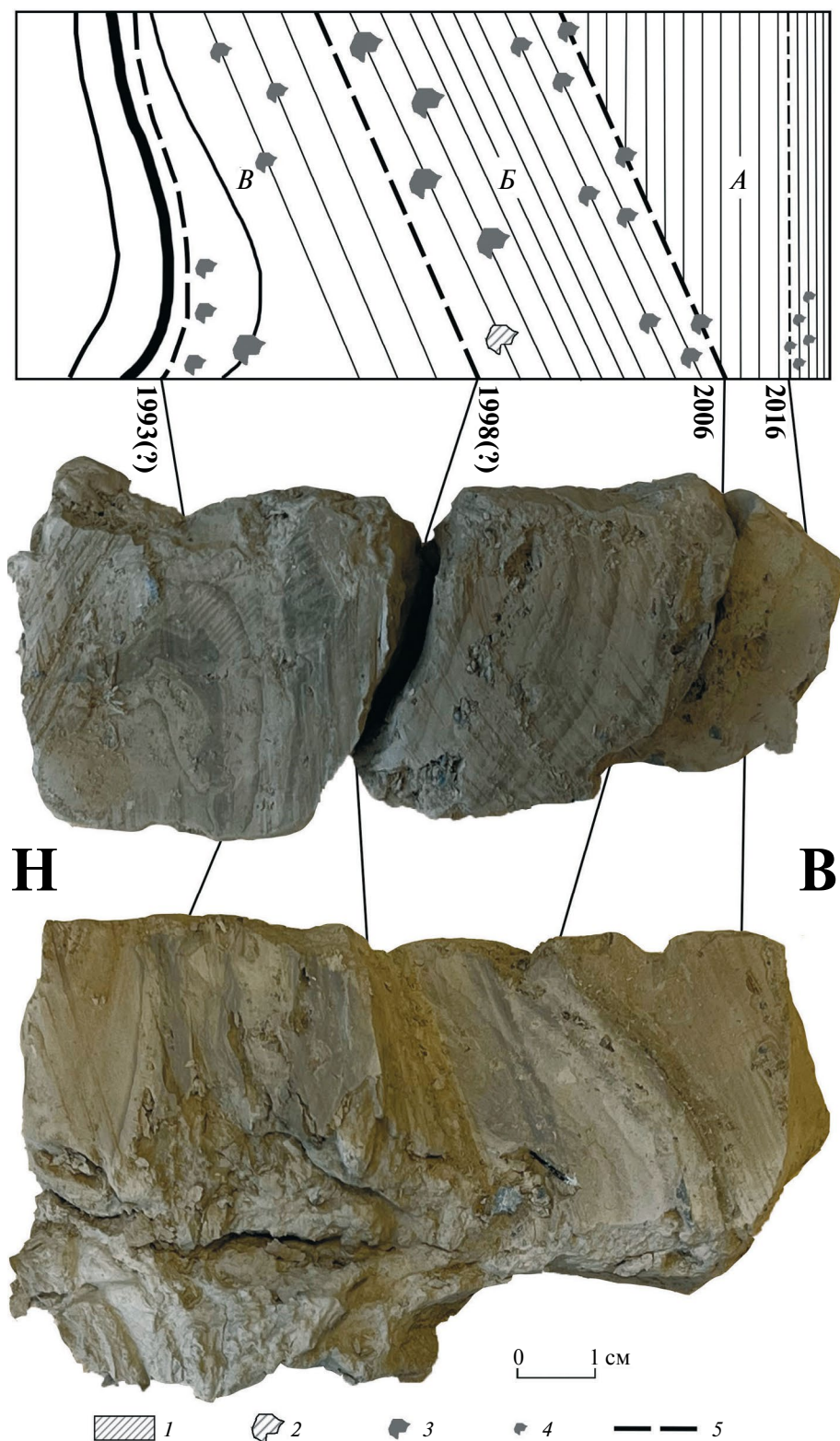


Рис. 5. Колонка из верхней части озёрных отложений оз. Спартаковского. 1 – глинистые алевроиты с годовой ленточной слоистостью; 2 – единичное зерно щебня размером 10 мм, 3 – дресва размером 2–10 мм, 4 – зёрна крупнозернистого песка, 5 – предполагаемые границы слоёв, отражающие события спусков озера

Fig. 5. Core from the upper part of the lake sediments of Spartakovskoye Lake. 1 – varved clay silt, 2 – grain of debris of 10 mm size, 3 – gravel of 2–10 mm size, 4 – coarse-grained sand, 5 – suggested boundaries of the layers reflecting the drainage lake events

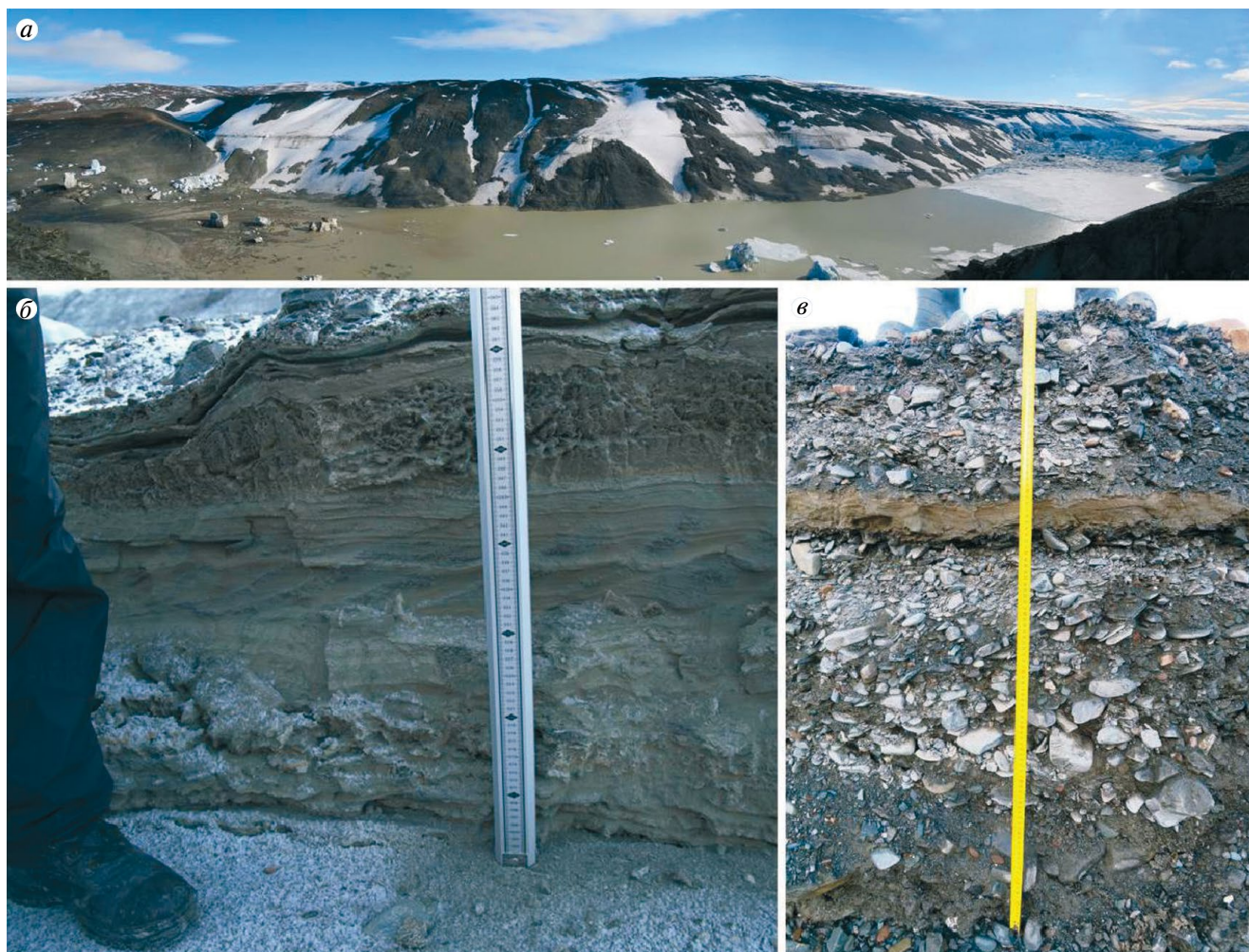


Рис. 6. (а) Панорама долины спущенного приледникового озера в июле 2022 г., когда уровень озера поднялся до 23 м над ур. моря; (б) разрез донных озёрных осадков на дне спущенного озера в сентябре 2021 г.; (в) разрез осадков в июле 2022 г. Фото Г.Б. Лебедева, 2022 г., И.С. Ёжикова, 2021 г.

Fig. 6. (a) Panorama of the drained lake in July 2022; (b) section of lake sediments on the bottom of drained lake in September 2021; (c) section of sediments in July 2022. Photo by G.B. Lebedev, 2022, I.S. Yozhikov, 2021

развитии по дну русловой многоруканности потоков произошли накопление, эрозия, замещение тонких озёрных осадков валунами, щебнем, галькой, гравием, эрозионные врезы в озёрные осадки были заполнены щебнисто-галечными отложениями по типу констративного аллювия. Новый глубинный врез водотоков вскрыл уже совершенно другие отложения, и озёрные осадки можно было наблюдать только в отдельных фрагментах разреза среди грубообломочного материала. Ранее при бросании грунтовых трубок грубообломочный материал (валуны, крупные гальки) на дне озера не встречался, что свидетельствует о его накоплении только в результате осушения дна котловины, оживления русловых и склоновых процессов в субэдральных условиях.

ЧЁРНЫЕ АЙСБЕРГИ

Всплытие озёрного края выводного ледника, его разрушение и образование множества айсбергов, в том числе насыщенных обломочным материалом, позволило также понять процесс формирования так называемого мореносодержащего льда, который обычно объясняется отрывом обломочного материала от ложа ледника в процессе экзарации. Поставщиком обломочного материала в айсберги служат части ледника, примыкающие к склонам, по которым обломочный материал перемещался с не занятых ледником частей склонов и захоранивался в процессе разрастания ледника. В настоящее время эти массы льда, переслаивающегося с обломочным материалом, вскрываются в результате

их отрыва от ложа, всплывают и превращаются в айсберги, полностью или частично чёрные благодаря обломочному материалу со склонов. Долина у северного склона озера, контактировавшего с выводным ледником во время спуска озера в 2016 г., ещё сохраняла массив льда, содержащего обломочный материал, поступивший на ледник с крутых склонов долины (Парамзин и др., 2017). После спуска озера в 2021 г. этот массив грязного льда исчез из долины в результате всплывания льда и формирования айсбергов. Загрязнённый лёд в результате склоновых процессов разгружается в озеро и у южного берега, формирует полосу чёрного битого льда, перемещающегося в восточном направлении. В это же время центральная часть выводного ледника свободна от загрязнённого льда. Этими наблюдениями подтверждается положение о том, что мореносодержащий лёд не является результатом экзарации, а формируется вследствие перемещения обломков по склонам, ограничивающим распространение ледниковой лопасти. Другого результата трудно ожидать в условиях примораживания ледника к ложу, а эти условия господствуют на ложе всех североземельских ледников (Большаянов, Макеев, 1995).

ПОСЛЕДСТВИЯ СПУСКОВ ОЗЕРА, БУДУЩЕЕ ЕГО СОСТОЯНИЕ

Чем же интересно это описанное событие или череда событий в первой четверти XXI века? Тем, что на арх. Северная Земля закончился МЛП, после которого ледники начали сокращаться, в том числе выводные. Приледниковые озёра также сокращаются или исчезают в результате уменьшения ледниковых лопастей (Большаянов, Макеев, 1995). Озеро Спартаковское также заканчивает своё существование, на что указывают следующие данные и признаки. Изучение донных озёрных отложений показывает, что в течение последних 70 лет озеро спускалось с периодичностью в 5–10 лет, но дно озёрной котловины никогда не осушалось. До этого спуски воды происходили лишь частично, слабо нарушая спокойную обстановку накопления осадков на дне, которая была вызвана холодными летними сезонами и, соответственно, слабым таянием ледников. Последний спуск в 2021 г. был почти полным, что означает частичное разрушение ледниковой плотины перед стекавшими водами.

На частоту спусков, несомненно, влияет ширина выводного ледника, которая в последние

годы значительно сократилась (см. рис. 1), а также подлёдный рельеф фьорда, который достаточно резко увеличил глубину озера на современной его границе с ледником благодаря заметному уклону дна фьорда.

В последние годы спуски озера участились, и даже весной, ещё при полном замерзании всех поверхностных вод суши, геофизическими методами исследований периодически прослушивались сейсмические шумы, вызванные, вероятно, стоком воды по внутриледниковым каналам. Дальнейшее существование озера зависит от баланса массы перегораживающего его выводного ледника. Он сокращается, но не катастрофически, испытывая дефицит притока льда с ледникового купола Семёнова-Тян-Шанского. Режим последнего и является причиной существования приледникового озера Спартаковского. А так как северные части ледниковых куполов и выводные ледники, стекающие в северном направлении, испытывают сокращение в отличие от южных и западных частей ледников Северной Земли (Большаянов и др., 2016), то деградация выводного ледника и озера Спартаковского наиболее вероятны, но, конечно, только в случае сохранения современных климатических тенденций.

ВЫВОДЫ

В 2021 г. зафиксирован практически полный спуск воды из озера Спартаковского до отметки уровня 8.9 м над ур. моря, во время быстрой фазы которого продолжительностью 57 часов расход воды составлял до 1590 м³/с. В 2016 г. сработка уровня воды произошла до отметки около 30±10 м над ур. моря. Судя по строению донных отложений и наносов, оказавшихся на поверхности оголённого дна, это был первый полный спуск озера за всё время его существования со времени малого ледникового периода, начавшегося на Северной Земле с приходом 1600-х годов. Для спуска воды из озера необходимо было его заполнение до определённого уровня (100–120 м над ур. моря), когда всплывает и разламывается на айсберги озёрный край выводного ледника, что вызывает открытие внутриледниковых каналов, существующих в теле ледника в виде туннелей овалообразного сечения.

Во время спуска поток воды из озера не контактирует с ложем ледника, остающимся примороженным к ложу.

Прогрев воды у дна в наиболее глубокой части озера вызывается тепловым потоком из недр

Земли и существованием здесь сквозного талика. Температура воды в озере находится на пределе её замерзания, что способствует сохранению льда и снежников на склонах озёрной котловины, находящихся под временным затоплением во время заполнения озера талыми ледниковыми водами.

Попуски воды небольшой продолжительности могут происходить по внутриледниковым каналам до начала массового истечения воды из озера во время высокого стояния его уровня. В последние годы в связи с сокращением выводного ледника спуски озёрных вод учащаются, и если ранее этот процесс возникал в среднем раз в 10 лет, то теперь происходит через пять лет, что также зависит от интенсивности таяния ледников Войцеховского и Семёнова-Тян-Шанского.

Спуски воды из озера не являются катастрофическими, так как озёрная вода поступает во фиорд, не контактируя с ложем ледника — дном фиорда, но озёрное дно после спуска кардинально перестраивается в течение одного сезона в результате действия активнейших русловых и склоновых процессов, вызывающих замещение озёрных осадков флювиогляциальными и склоновыми грубообломочными отложениями.

Наблюдения за прорывами вод в озере Спартакоском показывают, что разрушение ледяной плотины, подпруживающей водоём, происходит постепенно, не в одночасье, и занимает довольно длительный промежуток времени (годы), на что стоит обратить внимание исследователям, рассматривающим последствия гляциальных суперпаводков прошлого во время распада оледенений в горах, обычно предполагающим мгновенное разрушение ледяной плотины и катастрофическую разгрузку большого объёма воды приледникового водоёма.

Мореносодержащий лёд образуется в результате накопления обломочного материала в краевых частях ледника, на которых склоновые осадки в результате оплывания и осыпания аккумулируются в течение многих лет, а при отрыве от ложа эти части ледника всплывают в озере и раскалываются на множество чёрных айсбергов.

Механизм спуска воды из приледникового озера Спартакоского до сих пор таит в себе пока не разрешённые вопросы, связанные с термодинамикой процесса. Например, как формируются каналы стока в теле выводного ледника и как они поддерживаются в условиях переохлаждённой воды озера и отрицательной температуры ледника, сквозь который прорываются талые воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Большаинов Д.Ю.* Осадконакопление в современном приледниковом озере (на примере озера Изменчивого, архипелаг Северная Земля // Вестник ЛГУ. 1985. № 7. С. 43–50.
- Большаинов Д.Ю.* Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды. СПб.: ААНИИ, 2006. 296 с.
- Большаинов Д.Ю., Макеев В.М.* Архипелаг Северная Земля: оледенение, история развития природной среды. СПб.: Гидрометеиздат, 1995. 216 с.
- Большаинов Д.Ю., Булатов Р.К.* Возобновление гляциологических исследований на архипелаге Северная Земля // Российские полярные исследования. 2014. № 3 (17). С. 14–17.
- Большаинов Д.Ю., Соколов В.Т., Ёжиков И.С., Булатов Р.К., Рачкова А.Н., Фёдоров Г.Б., Парамзин А.С.* Условия питания и изменчивость ледников архипелага Северная Земля по результатам наблюдений 2014–2015 гг. // Лёд и Снег. 2016. Т. 56. № 3. С. 358–368.
<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-3-358-368>
- Говоруха Л.С., Большаинов Д.Ю., Зархидзе В.С., Пинчук Л.Я., Юнак Р.И.* Изменения ледникового покрова Северной Земли в XX столетии // МГИ. 1987. № 60. С. 155–158.
- Макеев В.М.* История приледниковых озёр Северной Земли // Тезисы докладов VI Всес. совещ. «История озёр в СССР». Т. 1. Таллин, 1983. С. 122–123.
- Муравьёв А.Я., Чернов Р.А.* Прорыв ледниково-подпрудного озера Спартакоское и изменения выводного ледника купола Семёнова-Тян-Шанского в 2021 г. (Северная Земля) // Лёд и Снег. 2023. Т. 63. № 1. С. 17–32.
<https://doi.org/10.31857/S2076673423010118>
- Парамзин А.С., Ёжиков И.С., Рачкова А.Н., Большаинов Д.Ю.* Уникальное ледниковое событие на архипелаге Северная Земля // Российские полярные исследования. 2017. № 4 (30). С. 47–49.
- Палеоклимат полярных областей Земли в голоцене / Под ред. Д.Ю. Большаинова, С.Р. Веркулича. СПб.: ААНИИ, 2019. 204 с.
- Чернов Р.А., Муравьёв А.Я.* Природная катастрофа ледниково-подпрудного озера Спартакоское на острове Большевик (Северная Земля) // Криосфера Земли. 2020. Т. XXIV. № 4. С. 58–68.
- Bolshiyanov D.Yu., Melles M., Samarkin M., Wilmking M.* Lake morphology, hydrology and sedimentation // Berichte zur Polarforschung. Russian-German Cooperation: The Expedition Taymyr/Severnaya Zemlya. 1997. № 237. P. 134–146.

Citation: Bolshiyarov D.Yu., Paramzin A.S., Yozhikov I.S., Koblashov I.D., Aksenov A.O., Merkulov V.A., Khotchenkov S.V., Sokolov V.T., Nyubom A.A., Sekisov N.L., Berdinskikh D.V. Spartakovskoye Lake is the disappearing Little Ice Age periglacial lake on the Severnaya Zemlya Archipelago. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2025, 65 (2): 327–341. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673425020102

Spartakovskoye Lake Is the Disappearing Little Ice Age Periglacial Lake on the Severnaya Zemlya Archipelago

© 2025 D. Yu. Bolshiyarov^{a, #}, A. S. Paramzin^a, I. S. Yozhikov^a, I. D. Koblashov^a, A. O. Aksenov^a, V. A. Merkulov^a, S. V. Khotchenkov^a, V. T. Sokolov^a, A. A. Nyubom^a, N. L. Sekisov^a, D. V. Berdinskikh^b

^aArctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

^bSt. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

[#]e-mail: bolshiyarov@aari.ru

Received June 25, 2024; Revised December 26, 2024; Accepted April 18, 2025

The last two releases of water from the periglacial Spartakovskoye Lake on Bolshevik Island (Severnaya Zemlya archipelago) were recorded in 2016 and 2021. After water release in 2016, observations of the lake level began. In 2021, almost complete draining of the lake was recorded by hourly images from a camera installed on the northern slope of the lake valley. The water flow through intraglacial channels from the lake of 0.33 km³ was up to 1590 m³/s during 57 hours of active drainage. Lake sediments accumulated 250–300 years ago were practically destroyed in just two to three months in 2021 and 2022 by active erosive, accumulative and slope processes at the bottom of after the lake emptied. The complete devastation of the lake was the first event after the damming of the lake by an outlet glacier at the beginning of the Little Ice Age (LIA), which began on the Severnaya Zemlya archipelago around 1600 AD. This means that at the end of the LIA, the periglacial lake is at the stage of degradation of the outlet glacier. Now it should be expected more frequent emptying of the lake instead of the previous periodic 5–10 year decreases in lake level.

Keywords: periglacial lake, lake water drawdowns, bottom sediments, degradation of Little Ice Age glaciers, Severnaya Zemlya

REFERENCES

- Bolshiyarov D.Yu. Sedimentation in the modern periglacial lake (Izmenchivoe Lake, Severnaya Zemlya Archipelago). *Vestnik LGU. Bulletin of St. Petersburg University*. 1985, 7: 43–50 [In Russian].
- Bolshiyarov D.Yu. *Passivnoe oledenenie Arktiki i Antarktidy*. Passive glaciation of the Arctic and Antarctica. St. Petersburg: AANII, 2006: 292 p. [In Russian].
- Bolshiyarov D.Yu., Makeev V.M. *Arhipelag Severnaya Zemlya: oledenenie, istoriya razvitiya prirodnoy sredy*. The Severnaya Zemlya Archipelago glaciation, the history of the development of the natural environment. St. Petersburg: Roshydromet, 1995: 216 p. [In Russian].
- Bolshiyarov D.Yu., Bulatov R.K. Renewal of glaciological investigation on the Severnaya Zemlya Archipelago. *Rossiiskie polyarnye issledovaniya*. Russian Polar Investigation. 2014, 3 (17): 14–17 [In Russian].
- Bolshiyarov D.Yu., Sokolov V.T., Jozhikov I.S., Bulatov R.K., Rachkova A.N., Fedorov G.B., Paramzin A.S. Conditions of the alimentation and the variability of glaciers of the Severnaya Zemlya Archipelago from observations of 2014–2015. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2016, 56 (3): 358–368. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-3-358-368> [In Russian].
- Govorukha L.S., Bolshiyarov D.Yu., Zarkhidze V.S., Pinchuk L.Ya., Yunak R.I. Changes in the Severnaya Zemlya glacier cover in the twentieth century. *Materialy glyaciologicheskikh issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1987, 60: 155–158 [In Russian].
- Makeev V.M. The history of Severnaya Zemlya lakes. *Tezisy dokladov VI Vsesoyuznogo sveschaniya "Istoriya ozer v*

- SSSR". Abstracts of VI Russian conference "History of lakes in the USSR". Tallinn, 1983, 1: 122–123 [In Russian].
- Muraviev A.Ya., Chernov R.A.* Outburst of the Spartakovskoye glacier-dammed lake and changes of the outlet glacier of the Semyonov-Tyan-Shansky Ice Cap, Severnaya Zemlya in 2021. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2023, 63 (1): 17–32.
<https://doi.org/10.31857/S2076673423010118> [In Russian].
- Paramzin A.S., Jozhikov I.S., Rachkova A.N., Bolshiyakov D.Yu.* Unique glacial event on the Severnaya Zemlya Archipelago. *Rossiiskie polyarnye issledovaniya*. Russian Polar Investigation. 2017, 4 (30): 47–49 [In Russian].
- Paleoklimat polyarnykh oblastei Zemli v golocene*. Paleoclimate of Polar Regions of the Earth in Holocene. St. Petersburg: AANII, 2019: 204 p. [In Russian].
- Chernov R.A., Muraviev A.Ya.* Natural disaster of Spartakovskoe glacial lake on Bolshevik Island (Severnaya Zemlya Archipelago). *Kriosfera Zemli*. Cryosphere of the Earth. 2020, 24 (4): 58–68 [In Russian].
- Bolshiyakov D.Yu., Melles M., Samarkin M., Wilmsking M.* Lake morphology, hydrology and sedimentation. *Berichte zur Polarforschung*. Russian-German Cooperation: The Expedition Taymyr/Severnaya Zemlya. 1997, 237: 134–146.