

ПРИЛЕДНИКОВЫЕ ОЗЁРА АЛТАЯ: ФОРМИРОВАНИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Пряхина Г.В.¹⁾, Распутина В.А.¹⁾, Зелепукина Е.С.²⁾

¹⁾*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

²⁾*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия
g.pryahina@spbu.ru*

Зафиксированное в последнее десятилетие ускорение процесса сокращения оледенения Внутренней Азии привело к значительному увеличению количества приледниковых озёр, в том числе с высокой вероятностью прорыва и спуска водной массы. Интенсивное развитие в Алтайском регионе хозяйства, туризма, логистических путей делают задачу выявления потенциально опасных водных объектов крайне актуальной. В ходе многолетних комплексных экспедиций института Наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета на российской и монгольской частях территории горного Алтая (массив Монгун-Тайга, Южно-Чуйский хребет, массивы Таван-Богдо-Ола и Цамбагарав) был получен обширный натурный материал о гидрологических и морфометрических характеристиках высокогорных водоёмов и их водосборов в районах деградации оледенения. В работе показаны особенности гидрологического режима приледниковых водоёмов выявленные на основе анализа данных многолетних экспедиционных исследований и дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: уровенный режим; фазы развития озёр; ледниковый сток; данные дистанционного зондирования.

GLACIAL LAKES OF ALTAI: FORMATION AND HYDROLOGICAL REGIME

Pryakhina G.V.¹⁾, Rasputina V.A.¹⁾, Zelepukina E.S.²⁾

¹⁾*Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

²⁾*Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education the Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, Russia*

The acceleration of the glaciation reduction in Inner Asia recorded in the last decade has led to a significant increase in the number of glacial lakes, including those with a high probability of outburst and the water mass descent. Intensive development of economy, tourism and logistics routes in the Altai region make the task of identifying potentially dangerous water bodies extremely urgent. During the long-term complex expeditions of the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University in the Russian and Mongolian

parts of the Altai Mountains (the Mongun-Taiga massif, the South-Chuya Ridge, the Tavan-Bogdo-Ola and Tsambagarav massifs) extensive field material was obtained on the hydrological and morphometric characteristics of high-altitude reservoirs and their catchments in areas of glaciation degradation. The paper shows the features of the hydrological regime of glacial reservoirs identified based on the analysis of data from long-term expeditionary research and remote sensing of the Earth.

Keywords: level regime; phase of lake development; glacial runoff; remote sensing data.

Материалами для выявления особенностей гидрологического режима высокогорных озёр послужили данные сезонных наблюдений на 8 водоёмах (таблица), расположенных в краевых частях ледников либо на моренах (современных или малого ледникового периода). В состав полевых работ, подробно описанных в [3-5], вошли гидрографические описания объектов, наблюдения за уровнями воды водоёмов, измерения расходов воды сопряженных с ними ручьёв, наблюдения за температурой воздуха и осадками, обследования подпруживающих моренных перемычек, тахеометрические и батиметрические съемки озёрных котловин.

Характеристика объектов исследования

Озеро	Горный массив/ хребет	Высота, м	Площадь, м ²	Расстояние до ледника, м	Тип стока	Наличие метеонаблюдений
МТ8 «Малое»	Монгун-Тайга	2980	4150	примыкает	фильтрация	-
Хойнур	Монгун-Тайга	2910	24780	130	фильтрация	-
Барсово	Таван-Богдо-Ола	3265	17112	примыкает	Поверхностный, фильтрация	+
Гачи-Коль	Таван-Богдо-Ола	3250	6506	примыкает	Фильтрация, перелив	+
SCh74 «Чилл»	Южно-Чуйский	2990	1000	примыкает	фильтрация	+
SCh75 «НВ»	Южно-Чуйский	2990	2190	примыкает	Перелив, фильтрация	+

*в кавычках указаны рабочие названия озёр, которые далее будут использоваться в тексте

Анализ суточных колебаний уровня воды проводился по данным непосредственных полевых наблюдений. Учитывая сложность организации стационарных гидрологических наблюдений в труднодоступных районах, особенности многолетней изменчивости режима высокогорных водо-

ёмов были выявлены с использованием данных дистанционного зондирования (снимки Landsat и Sentinel) за период 1989-2022 гг., что позволило расширить перечень исследуемых водных объектов. Косвенная оценка сезонной и межгодовой изменчивости уровня воды осуществлялась на основе сравнительного анализа площадей зеркал водоёмов. Площадь озёр определялась в программе ArcMap 10.4.1 (ESRI Inc., USA) путём визуального ручного дешифрирования с использованием комбинации каналов «естественные цвета» (для всех спутниковых снимков). Пространственное разрешение спутниковых снимков Landsat 9 улучшалось путем объединения с панхроматическими снимками. Выделение критериев отнесения водоёмов к определенной стадии развития проводилось на основе классификации, предложенной в [1].

Результаты и обсуждение

Приледниковые озера («Малое» (Монгун-Тайга), «Чилл», «НВ» (Южно-Чуйского хребет), Гачи-Коль (Таван-Богдо-Ола)), образовавшиеся за последние 15-20 лет в результате сокращения оледенения территории горного Алтая, находятся на самом раннем этапе развития (трансгрессивная стадия). Они имеют небольшие размеры (до 6000 м²), расположены в непосредственной близости от ледников, в их краевых частях, и частично окружены современной мореной. Основным источником питания приледниковых водоёмов являются талые ледниковые воды.

Выявленные суточные колебания размеров водоёма и его уровня обусловлены изменением величины абляции ледника: в дневные часы уровень воды в водоёмах повышается, а ночью резко сокращается вплоть до полного спуска. Так, озеро «Чилл» ежедневно спускалось полностью, предположительно через грот, расположенный у языка ледника. Другие озёра спускались частично путем перелива озёрных вод через гребень подпруживающей водоём моренной перемычки («НВ») либо по временным водоточкам, формирующимся в эрозионных врезах на внешней стороне перемычки (Гачи-Коль), а также путем фильтрации через моренную перемычку.

Установлено, что уровенный режим приледниковых водоёмов характеризуется выраженной внутрисуточной динамикой и повторяет с некоторым запаздыванием суточный ход температуры воздуха (рис. 1). Амплитуда колебаний уровня воды в период наблюдений достигала 150 см и более.

Приледниковые озёра имеют сложный режим уровней не только в суточном, но и в годовом ходе. Так, анализ изменения площади озера Гачи-Коль (массив Таван-Богдо-Ола), расположенный в краевой части ледника № 12 [2, 6] показал, что озеро существовало только в период абляции ледника: в середине июня котловина водоёма наполнялась, а в конце сентября

происходил полный спуск воды по фильтрационным каналам. При этом на конец теплого периода каждого следующего года объем и площадь зеркала озера становились больше. Схожая тенденция изменения площадей зеркала отмечена для озера «Малое», примыкающего к леднику № 24 (массив Монгун-Тайга): площадь водоёма увеличилась за период с 2016 по 2022 г. на 74%.

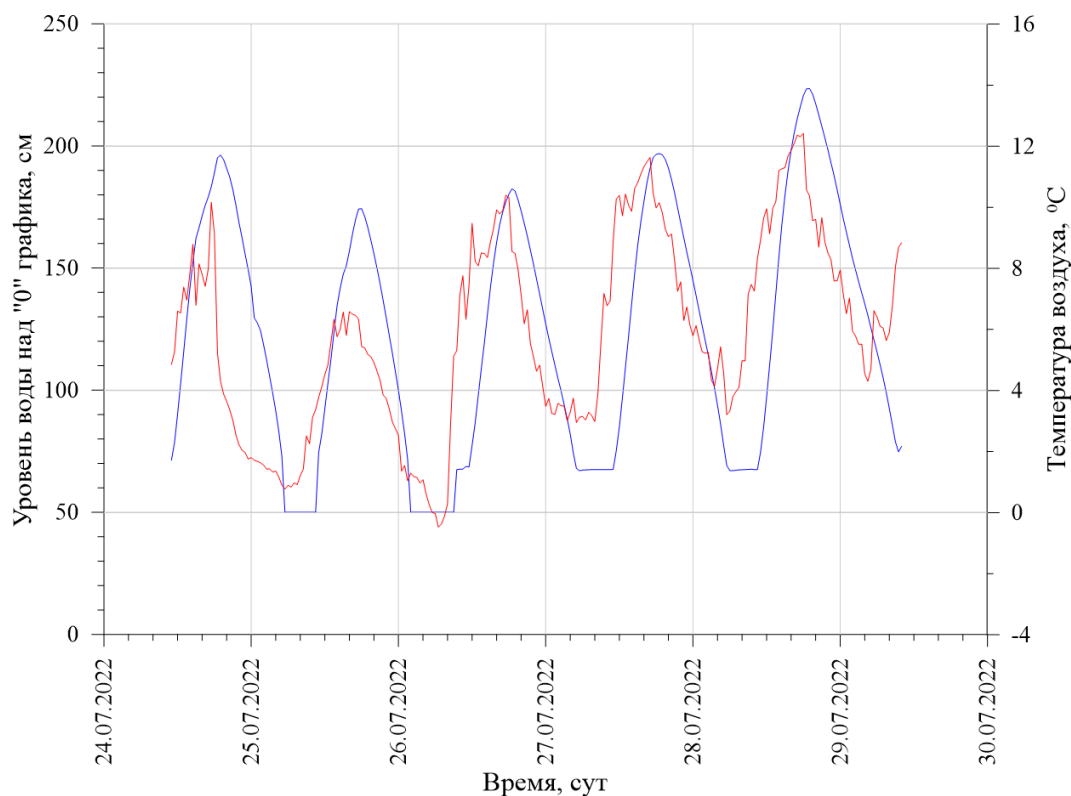


Рис. 1. Совмещённый ход уровня воды (синяя линия) на водомерном посту на озере SCh74 «Чилл» и температурой воздуха (красная линия) на метеостанции, расположенной на леднике Некрасова.

Дальнейшее развитие водоёма может привести к регрессивной стадии. Сокращение размеров озера на конец периода абляции в многолетнем аспекте может протекать достаточно быстро (от нескольких часов до нескольких месяцев) при разрушении подпруживающей перемычки или спуске озёрных вод по фильтрационным каналам внутри дамбы. Так при визуальном обследовании озера Барсово (массив Таван-Богдо-Ола) в 2021 году был выявлен поверхностный сток, который при понижении уровня воды в водоёме переходил из поверхностного в подземный и фиксировался на внешней стороне подпруживающей морены в виде высачивания. Это позволило выдвинуть предположение о высокой вероятности спуска озера [5].

В конце июня 2022 г., согласно анализу спутниковых снимков Sentinel, начался процесс истечения и к 3 сентября водоём был полностью осушен (рис. 2). На основе выполненных в 2021 г. батиметрической и тахеометрической съёмок был построен график изменения объёмов воды в озере за период его спуска.



Рис. 2. Изменение площади озера Барсова летом 2022 г. Спутниковые снимки с сайта: <https://apps.sentinel-hub.com>

В случае нарушения связи озера с ледником, т.е. постепенного сокращения ледникового питания, процесс регрессии растягивается на годы. Например, моренно-подпрудное озеро Хойнур (массив Монгун-Тайга), площадь поверхности которого при потере прямой связи с отступающим ледником № 24 [4], начала сокращаться с 2012 года, уменьшилась практически в два раза, но состояния стабильности (пострегрессионная стадия) на сегодняшний день не достигла (рис. 3).

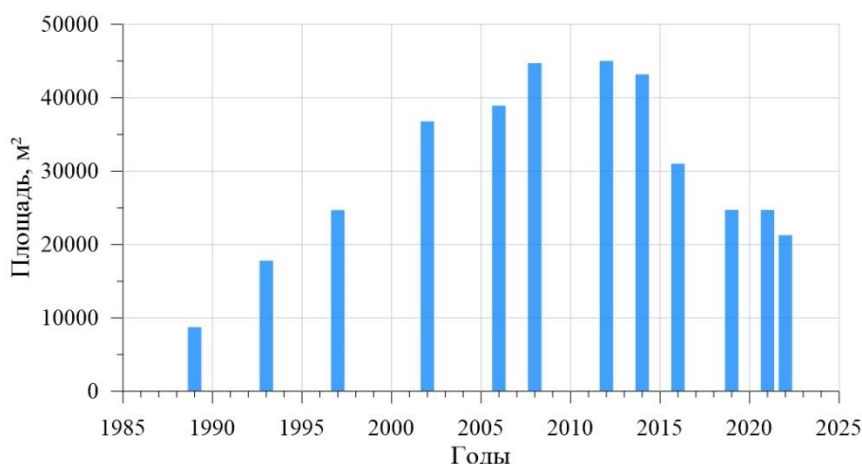


Рис. 3. Гистограмма изменения площади оз. Хойнур. Площади озера приведены на конец абляции (конец июля – начало августа)

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-27-00171 «Моделирование прорывов водоёмов, подпруженных дамбами естественного происхождения».

Библиографические ссылки

1. Зимницкий А.В. Формирование, распространение и динамика приледниковых озёр Западного и Центрального Кавказа (в границах России). Автореферат диссертации на соискание уч. степени канд. геогр. наук. Краснодар, 2005. 24 с.
2. Каталог ледников СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. Ч. 5. Бассейн р. Аргута. Л.: Гидрометеиздат; 1977. 47 с.
3. Пряхина Г.В., Кашкевич М.П., Попов С.В., Распутина В.А., Боронина А.С., Ганюшкин Д.А., Агатова А.Р., Непоп Р.К. Формирование и развитие моренного (приледникового) озера Нурган, Северо-Западная Монголия. Криосфера Земли. 2021. Т. XXV. № 4. С. 26–35.
4. Распутина В.А., Ганюшкин Д.А., Банцев Д.В., Пряхина Г.В., Вуглинский В.С., Свирепов С.С., Панютин Н.А., Волкова Д.Д., Николаев М.Р., Сыроежко Е.В. Оценка прорывоопасности малоизученных озёр массива Монгун-Тайга. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. Том 66. Вып. 3. С. 487-509.
5. Распутина В.А., Пряхина Г.В., Ганюшкин Д.А., Банцев Д.В., Панютин Н.А. Особенности уровня режима приледниковых моренно-подпрудных озёр в стадии роста (на примере озёр горного массива Таван-Богдо-Ола, Юго-Восточный Алтай). Лёд и снег. 2022. Т.62. № 3. С. 441-454.
6. Ganyushkin D., Chistyakov K., Derkach E., Bantcev D., Kunaeva E., Terekhov A., Rasputina V. Glacier Recession in the Altai Mountains after the LIA Maximum. Remote Sensing. 2022. V. 14. № 1508. P. 1–29.