

УДК 502/504(99-923.1(3))

Редакционная коллегия:

академик НАН Беларуси, д-р геогр. наук, профессор *В.Ф. Логинов*,
д-р физ.-мат. наук, профессор *С.А. Лысенко*,
канд. геогр. наук, доцент *В.А. Рыжиков*,
канд. биол. наук, доцент *Ю.Г. Гигиняк*

Рецензенты:

д-р геогр. наук, профессор *А.А. Волчек*,
д-р геогр. наук, профессор *П.С. Лопух*

Природная среда Антарктики: междисциплинарные подходы к изучению : сб. материалов IV Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию Государственного учреждения «Республиканский центр полярных исследований», Домжерицы, 21–23 сент. 2022 г. / редкол. : В.Ф. Логинов, С.А. Лысенко, В.А. Рыжиков, Ю.Г. Гигиняк. – Минск : БГТУ, 2022. – 284 с.

ISBN 978-985-897-041-3.

В сборник включены доклады IV-й Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию Государственного учреждения «Республиканский центр полярных исследований» (21–23 сентября 2022 года; на базе Государственного природоохранного учреждения «Березинский биосферный заповедник», пос. Домжерицы, Витебская область, Республика Беларусь).

The conference proceeding include papers of the IV International Scientific and Practical Conference “The Natural Environment of Antarctica: Cross-Disciplinary Study Approaches”, dedicated to the 15th Anniversary of the Republican Center for Polar Research (21–23 September 2022; on the basis of the State Nature Protection Institution “Berezinsky Biosphere Reserve”, Republic of Belarus, Vitebsk region, Domzheritsy).

ISBN 978-985-897-041-3

© Институт природопользования
НАН Беларуси, 2022

© Оформление. УО «Белорусский
государственный технологический
университет», 2022

КРИТЕРИИ ПРОРЫВООПАСНОСТИ И ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ЦИКЛИЧНОСТИ ПРОРЫВОВ ОЗЁР АНТАРКТИЧЕСКИХ ОАЗИСОВ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОЁМОВ ОАЗИСА ХОЛМЫ ЛАРСЕМАНА)

Г.В. Пряхина^{1,2*}, М.Р. Кузнецова¹, С.В. Попов^{3,1,2}, А.С. Боронина^{4,1,2}, А.А. Четверова^{1,5}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

²Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия;

³АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия;

⁴Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия;

⁵Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия;

*g.pryakhina@spbu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены критерии прорывоопасности озёр оазиса Холмы Ларсеманн, в качестве которых предлагаются: наличие понижения в рельефе; наличие подпруживающего снежника (ледника); превышение уровня воды озера над порогом стока. С этой точки зрения рассмотрены 13 водоёмов оазиса Холмы Ларсеманн. Полученные оценки прорывоопасности не противоречат имеющейся информации о случаях прорывов рассмотренных водоёмов. Выявлено, что изменения цикличности и периодичности прорывов связаны с межгодовой изменчивостью метеорологических параметров. В вековом и многолетнем масштабе определённое влияние, безусловно, будут оказывать глобальные климатические изменения.

Ключевые слова: критерии прорывоопасности; водоёмы антарктических оазисов; Холмы Ларсеманн; цикличность прорывов.

THE OUTBURST HAZARD CRITERIA AND THE MAIN CAUSES OF CYCLICITY OF LAKES OUTBURST IN THE ANTARCTIC OASES (ON THE EXAMPLE OF LAKES IN THE LARSEMANN HILLS)

G.V. Pryakhina^{1,2*}, M.R. Kuznetsova¹, S.V. Popov^{3,1,2}, A.S. Boronina^{4,1,2}, A.A. Chetverova^{1,5}

¹Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg, Russia;

²Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russia;

³Polar Marine Geosurvey Expedition, St. Petersburg, Russia;

⁴State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia;

⁵Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia;

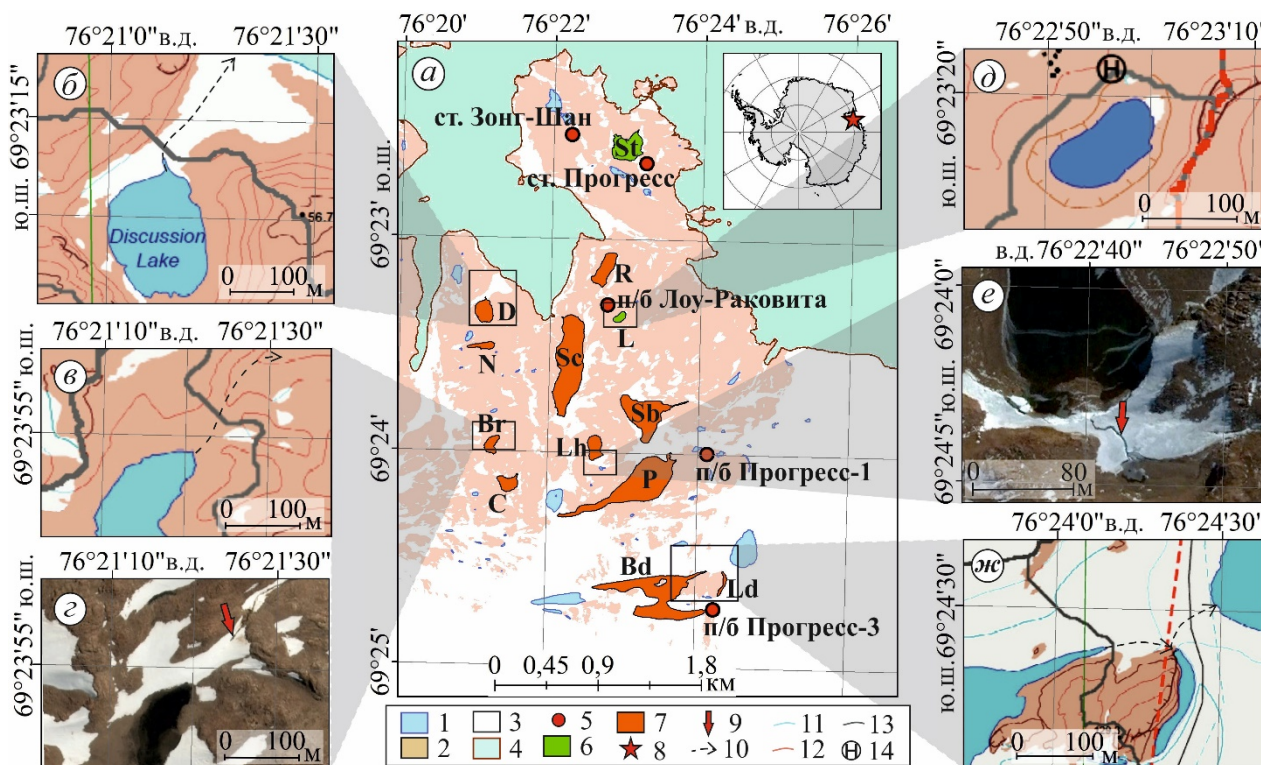
*g.pryakhina@spbu.ru

Abstract. The outburst hazard criteria of lakes in the Larsemann Hills are discussed in this article; these criteria are: the presence of a depression in the topography; the presence of a snowfield (glacier) damming the lake; the elevation of the lake water level above the lake runoff threshold. 13 lakes in the Larsemann Hills are considered in that context. The obtained evaluations of the outburst hazard do not contradict the available information on cases of this water bodies. It was found that changes in the cyclicity and frequency of lake outburst are related to the inter-annual variability of meteorological parameters. On a century-long and multi-year scale, definitely, global climate changes will have a certain impact.

Keywords: outburst hazard criteria; lakes of Antarctic oases; the Larsemann Hills; cyclicity of lake outburst.

Одной из особенностей гидрографической сети антарктических оазисов является наличие водоёмов, характеризующихся прорывными явлениями [3]. Прорывающиеся водоёмы, расположенные вне ледника, представляют систему озеро-снежник: отток воды затруднён снежником, играющим роль естественной снежно-фирновой дамбы, удерживающей озёрные воды. В случае озёр, расположенных на леднике, естественной дамбой является снежно-фирновая часть ледника. Разрушение дамбы сопровождается выработкой канала стока (открытого или закрытого) в теле плотины или формированием открытого канала стока на леднике. Анализ строения рассматриваемых систем («озеро-снежник»/«озеро-ледник») позволяет предложить основные критерии их прорывоопасности: (1) наличие понижения в рельефе; (2) наличие подпруживающего снежника (ледника); (3) превышение уровня воды озера над порогом стока. Наличие понижения в рельефе одного из бортов озёрной котловины позволяет осуществляться оттоку воды из озера при отсутствии снежника, а в случае его наличия –

формироваться в его теле каналу стока, через который будет осуществляться прорыв, что было показано в работе [6]. Для озёр, расположенных на леднике, формирование прорывного канала стока происходит там, где есть локальные понижения поверхности ледника. Оценить наличие понижения в рельефе и наличие естественной дамбы (снежника, ледника) дистанционно, принимая во внимание труднодоступность региона, возможно по спутниковым снимкам и топографическим картам. *Наличие подпруживающего снежника (ледника)*, выполняющего роль природной плотины, затрудняет отток воды из озёр. Аналогичную функцию естественной дамбы выполняет фирно-ледовый борт котловины озёр, расположенных на леднике. Прорывоопасность озера во многом зависит от положения его уровня воды. Теоретически возможность прорыва появляется уже тогда, когда *уровень воды озера начинает превышать высотную отметку порога озёрной котловины*. Максимальный (критический) уровень воды озера соответствует высоте снежника (или ледника). Значения уровня воды озера, между величиной высотной отметки порога стока и отметкой снежника (ледника) предлагается считать прорывоопасным. При превышении этого уровня произойдёт перелив с последующим разрушением плотины (что, например, и произошло при прорыве озера Болдер в 2020 г. [3]). Определение высоты водной поверхности для её сопоставления с высотной отметкой скальной котловины осуществляется либо по данным мониторинговых уровенных наблюдений, если они проводятся, либо путём геодезических измерений. Согласно предложенным критериям, озёра антарктических оазисов можно разделить на три группы по степени прорывоопасности: безопасные, потенциально прорывоопасные, прорывоопасные. Для апробации предлагаемого подхода, мы применили предложенные критерии к 13 водоёмам оазиса Холмы Ларсеманн (секция *a*). Так как постоянного мониторинга уровня воды на этих водоёмах не проводится, были рассмотрены только первые два критерия, что позволило судить о двух группах: безопасные и потенциально опасные.



Результаты оценки прорывоопасности водоёмов оазиса Холмы Ларсеманн: а – схема расположения объектов; б – озеро Дискашн (Discussion Lake); в, г – озеро Брувиллер; д – озеро Лоу; е – озеро LH-73; ж – озёра Болдер и Ледяное. Секция *a* подготовлена по [1], секции *б, в, д, ж* по [2], секции *з, е* по *Google Earth Explorer Pro* (снимки от 18.01.2011 и 24.02.2006 соответственно).

Условные обозначения: озёра: N – LH-59, D – Дискашн, P – Прогресс, Sb – Сибторп, Bd – Болдер, Ld – Ледяное, Lh – LH-73, R – Рейд, L – Лоу, Sc – Скандретт, St – Степед, C – Камерон, Br – Брувиллер; 1 – прочие озёра, 2 – бесснежные территории, 3 – снежники и ледники, 4 – море, 5 – станции и полевые базы, 6 – безопасные водоёмы, 7 – потенциально прорывоопасные водоёмы, 8 – оазис Холмы Ларсеманн, 9 – положение прорывного канала, 10 – направление прорывного паводка; 11, 12 – изолинии; 13 – границы водосборов, 14 – вертолётная площадка

К группе потенциально прорывоопасных отнесены 11 из рассмотренных озёр. При анализе картографического материала выяснилось, что многие из них на одном из своих берегов имеют понижение в рельефе, перекрытое снежником (секция б). Помимо использования картографического материала, необходимо исследование спутниковых снимков (или аэрофотоснимков) территории для выявления снежников, которые не отмечены на карте. Так, озеро Брувиллер имеет характерное понижение в рельефе, указывающее на возможность стока. По карте снежник на этом участке отсутствует (секция в), однако на спутниковом снимке он хорошо виден (секция з). Также, на снимках могут быть видны прорывные каналы, доказывающие потенциальную прорывоопасность объекта (секция е). Оценка прорывоопасности озёр, расположенных на леднике, также требует дополнительного изучения спутниковых снимков (аэрофотоснимков), поскольку понижения в рельефе поверхности ледника по топографической карте могут быть выражены слабо (секция ж). Два водоёма – озёра Степпед и Лоу – отнесены к 1-й группе «безопасные»: оба имеют замкнутую котловину, на берегах отсутствует понижение в рельефе, допускающее возможность стока (секция д). Полученные оценки прорывоопасности не противоречат имеющейся натурной информации о случаях прорывов рассмотренных водоёмов.

Несмотря на нерегулярность наблюдений, очевидно, что прорывы озёр антарктических оазисов происходят с различной периодичностью. Есть водоёмы, прорывы которых происходят ежегодно, прорывы других – раз в несколько лет, а некоторые озёра вовсе никогда не прорывались. Оперировать статистическим понятием «повторяемость» в данном случае затруднительно, поскольку регулярные многолетние наблюдения за прорывами не проводились, и к настоящему моменту наибольшее количество собранных сведений о прорывах, относится к водоёмам восточной части оазиса Холмы Ларсеманн. Проанализировав их с учётом материалов собственных полевых наблюдений, мы предлагаем классификацию водоёмов антарктических оазисов по повторяемости прорывов: непрорывающиеся озёра – информация о прорывах отсутствует (бессточное озеро Лоу и сточное озеро Степпед); *прорывающиеся озёра* – водоёмы, которые прорывались в те или иные годы. Данную группу можно разделить на три подгруппы по периодичности прорывов. *Первая подгруппа* – озёра, прорывы которых происходят ежегодно (озёра ЛН-59 и Дискашн). *Вторая подгруппа* наиболее многочисленная, прорывы этих озёр нерегулярны. Это связано с не ежегодным формированием снежника на пути оттока воды (озёра Рейд, Скандретт, Сибторп). Но могут быть и иные причины: так, прорывы озера Ледяное вызваны переполнением, связанным с нерегулярными прорывами расположенного на леднике озера Болдер. К этой группе отнесено и озеро Камерон: данные о прорывах озёр отсутствуют, поверхностный сток формируется в выраженном понижении рельефа. К *третьей подгруппе* относятся водоёмы, прорывающиеся раз в несколько лет. Точная периодичность этих природных событий пока не установлена. Однако значительные интервалы времени между прорывами обусловлены длительным наполнением водоёмов. Уже упоминавшееся озеро Болдер, а также озеро ЛН-73, относятся именно к этой подгруппе. Отметим, что иногда установленная периодичность прорывов может нарушаться. Например, озеро Прогресс может быть охарактеризовано как ежегодно прорывающийся водоём. Однако в отдельные очень холодные и снежные годы, несмотря на наличие подпруживающего снежника и повышения уровня воды, прорыв не происходит. Скорее всего, это объясняется следующим: большее количество снега обеспечивает большую мощность и плотность снежника по сравнению с другими годами, это одновременно увеличивает и высоту критической отметки уровня воды, достижение которой затруднительно, поскольку из-за пониженных температур воздуха формируется и меньший объём притока. Сформулированная классификация в целом не противоречит известным данным о прорывах оазисов Молодёжный и Ширмахера. Так, в оазисе Ширмахера прорывы озёр Верхнее, Смирнова и Поморника зависят от того, сформировался ли подпруживающий снежник [4], и могут быть отнесены ко второй группе второй подгруппе. Прорывы озера Глубокое во многом определяются поступлением значительного количества талых вод, в том числе в виде прорывных паводков [4, 5]. Они происходят почти каждый год, за исключением отдельных лет, поэтому водоём относится к первой подгруппе. Для оазиса Молодёжный в статье [7] периодичность прорывов озёра Лагерное и Овальное определена как 1–2 года (можно отнести к первой подгруппе), озера Глубокое – 7–10 лет (можно отнести к подгруппе редко прорывающихся озёр). Цикличность прорывов во многом определяется метеорологическими условиями, поэтому изменения цикличности и периодичности прорывов будут связаны с межгодовой изменчивостью метеорологических параметров. В вековом и многолетнем масштабах определённое влияние, безусловно, будут оказывать глобальные климатические изменения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 20-05-00343 А.

Список использованной литературы

1. Antarctic Digital Database [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bas.ac.uk/project/add/> (дата обращения: 23.07.2022).
2. Broknes peninsula, Larsemann Hills: environmental management map [Электронный ресурс]. URL: https://data.aad.gov.au/aadc/mapcat/display_map.cfm?map_id=13135 (дата обращения: 23.07.2022).
3. Боронина А.С. Крупные прорывы озёр антарктических оазисов: обобщение современных знаний // Лёд и снег. – 2022. – Т. 62. – № 1. – С. 141–160. <https://doi.org/10.31857/S2076673422010122>.
4. Комплексные исследования рельефа, снежников и краевой зоны ледникового покрова в районе станции Новолазаревская» в сезонный период 59 РАЭ (2012-2013 гг.) [Текст]: отчёт о выполнении программы / Отв. исп.: Степанова О.В. – Антарктида, ст. Новолазаревская, 2014. – 46 с. – Госфонд ФГБУ «ААНИИ». Инв. № О-3851.
5. Симонов, И.М. Оазисы Восточной Антарктиды [Текст] / И.М. Симонов ; под ред. канд. геогр. наук Ю.А. Кручинина ; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Аркт. и антаркт. науч.-исслед. ин-т. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – 176 с., 1 отд. л. табл.: ил., карт.; 21 см.
6. Строение снежно-ледовых перемычек прорывных озёр полуострова Брокнес (оазис Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида) по данным георадиолокации / С.Д. Григорьева, Э.Р. Киньябаева, М.Р. Кузнецова [и др.] // Лёд и Снег. – 2021. – Т. 61. – № 2. – С. 291–300. – DOI 10.31857/S2076673421020089.
7. Шаров, А.Н. Экологические проблемы озер Восточной Антарктиды / А.Н. Шаров, А.В. Толстиков // Региональная экология. – 2018. – № 3(53). – С. 5-14. – DOI 10.30694/1026-5600-2018-3-5-14.