

# Риск и последствия прорывов высокогорных озёр Таджикистана

У.Р. Пирмамадов<sup>1</sup>, Р.А. Бобов<sup>2</sup>, Ю.Х. Раимбеков<sup>1</sup>, Ф.О. Мародасейнов<sup>1</sup>, И.И. Зикиллобеков<sup>1</sup>, С.С. Черноморец<sup>3</sup>, Е.А. Савернюк<sup>3</sup>, В.М. Кидяева<sup>3</sup>, И.В. Крыленко<sup>3</sup>, И.Н. Крыленко<sup>3</sup>, К.С. Висхаджиева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Филиал Агентства Ага Хана по Хабитат в Республике Таджикистан, Душанбе, Таджикистан, ubaidullo.pirmamadov@akdn.org

<sup>2</sup>Организация Ага Хана по развитию, Душанбе, Таджикистан, ruslan.bobov@akdn.org

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, sc@geogr.msu.ru

Аннотация. Рассматривается опыт совместных работ филиала Агентства Ага Хана по Хабитат (АКАН) в Республике Таджикистан и специалистов географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Россия) по оценке состояния и степени риска прорывов высокогорных озёр, проводившихся в рамках проекта «Батиметрическая съёмка и моделирование возможных прорывов высокогорных озёр на территории Западного Памира, Таджикистан». Показаны результаты исследований, которые позволили изучить ледниковые и высокогорные озёра бассейнов рек Гунт, Шахдара, Бартанг, а также верхней части бассейна р. Пяндж и разработать перечень мер по снижению риска прорывов этих озёр и смягчению последствий таких прорывов.

**Ключевые слова:** высокогорные озера, изменение климата, прорывоопасность, сель, паводок, Таджикистан, Горно-Бадахшанская автономная область, батиметрическая съемка, моделирование, снижение риска

Ссылка для цитирования: Пирмамадов У.Р., Бобов Р.А., Раимбеков Ю.Х., Мародасейнов Ф.О., Зикиллобеков И.И., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Кидяева В.М., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Висхаджиева К.С. Риск и последствия прорывов высокогорных озёр Таджикистана. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе—Хорог, Таджикистан). Том 1. — Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. — Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 1–24.

# Risk and consequences of high-mountain lake outbursts in Tajikistan

U.R. Pirmamadov<sup>1</sup>, R.A. Bobov<sup>2</sup>, Yu.Kh. Raimbekov<sup>1</sup>, F.O. Marodaseinov<sup>1</sup>, I.I. Zikillobekov<sup>1</sup>, S.S. Chernomorets<sup>3</sup>, E.A. Savernyuk<sup>3</sup>, V.M. Kidyaeva<sup>3</sup>, I.V. Krylenko<sup>3</sup>, I.N. Krylenko<sup>3</sup>, K.S. Viskhadzhieva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Branch of the Aga Khan Agency for Habitat in the Republic of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan, ubaidullo.pirmamadov@akdn.org

<sup>2</sup>Aga Khan Development Network, Dushanbe, Tajikistan, ruslan.bobov@akdn.org

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, sc@geogr.msu.ru

**Abstract.** The experience of joint work of the Aga Khan Agency for Habitat (AKAH) in Tajikistan and specialists of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Russia on assessment of the current state and the risk level of high-mountain lakes conducted within the framework of the project "Bathymetric survey and modelling of possible high-mountain lake outbursts in the territory of the Western Pamir, Tajikistan" is considered. In the article, it's shown the results of these researches that allowed studying glacial and high-mountain lakes in the Gunt, Shakhdara, and Bartang river basins, as well

as the upper part of the Panj River basin and developing a list of measures to reduce the risk of these lake outbursts and mitigate its consequences.

**Key words:** high mountain glacial lakes, climate change, outburst-prone lakes, debris flows, floods, Tajikistan, Gorno-Badakhshan Autonomous Region, bathymetric survey, modelling, risk reduction

Cite this article: Pirmamadov U.R., Bobov R.A., Raimbekov Yu.Kh., Marodaseinov F.O., Zikillobekov I.I., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A., Kidyaeva V.M., Krylenko I.V., Krylenko I.N., Viskhadzhieva K.S. Risk and consequences of high-mountain lake outbursts in Tajikistan. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: "Promotion" LLC, 2020, p. 1–24.

#### Введение

В Таджикистане насчитывается 1449 озёр общей площадью 716 км² (0,5%) территории страны). Площадь большинства из них не превышает 1 км². Важно отметить, что 78% озёр расположено в горных областях на абсолютных высотах 3500-5000 м [Мухаббатов, 2016].

На территории таджикского Памира, в Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО), по бассейнам основных притоков реки Пяндж – Гунт, Шахдара, Бартанг – и бассейну самого Пянджа насчитывается более 300 озёр, больших и маленьких по объёму. Самые крупные – озёра Каракуль, Рангкуль, Зоркуль, Сарез, Яшилькуль.

По результатам дешифрирования данных дистанционного зондирования, полученным в 2018 г., только в бассейне реки Гунт было выявлено 644 горных озера площадью более  $500 \text{ м}^2$ , что значительно превышает предыдущие оценки [*Ресурсы поверхностных вод СССР, 1971*]. В соответствии с классификацией озёр мира по величинам площадей их водной поверхности П.В. Иванова [*Мякишева, 2009*], водоёмы в бассейне Гунта распределяются по классам следующим образом: 602 — озерки (площадь менее  $0,1 \text{ км}^2$ ), 31 — очень малые  $(0,1-1 \text{ км}^2)$ , 10 — малые  $(1-10 \text{ км}^2)$ , 1 — среднее  $(10,1-100 \text{ км}^2)$ .

В течение предыдущих десятилетий прорывы ледниковых озер в высокогорьях ГБАО неоднократно приводили к катастрофическим последствиям. Примерами таких событий являются прорывы ледниковых озёр в верховьях рек Хидоржевдара в 1991 г., Даштдара в 2002 г. (Рошткалинский район), Кофарендара (Ишкашимский районе) в 2008 г. которые привели к формированию селевых потоков, нанесших значительный ущерб населению, хозяйствую и инфраструктуре ниже по долине. Селевой поток 2002 г. по Даштдаре привел и к человеческим жертвам [Шнайдер, 2005; Яблоков, 2009; Пирмамадов, 2013; Шафиев, 2013, 2014; Докукин и др., 2020].

В целом, селевые потоки и паводки, образующиеся в результате прорывов горных озер, относятся к одним из самых разрушительных среди опасных природных процессов. В зоне их поражения (в днищах и низовьях долин) зачастую находятся населенные пункты, инфраструктурные и социальные объекты. Подобная ситуация характерна для многих горных областей мира, в том числе и для ГБАО.

Именно поэтому специалистами АКАН совместно с организациями-партнёрами (в том числе географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова) на протяжении уже нескольких лет проводятся исследования высокогорных озёр Западного Памира, цель которых — обратить внимание государственных структур и населения, проживающего в долинах рек этого региона, на существующие проблемы, связанные с прорывоопасностью озёр, разработать меры по снижению рисков, вызванных непосредственно прорывами, а также другими опасными природными процессами и явлениями, которые эти прорывы инициируют.

#### Материалы и методы исследований

Поскольку изучаемые озёра расположены в труднодоступной высокогорной зоне, прямые измерения (батиметрическая съёмка самих озёр, топографическая съёмка нижележащих долин и т.д.) здесь затруднены. В связи с этим основными методами работы становятся рекогносцировочные обследования, анализ данных дистанционного зондирования и сценарное гидродинамическое моделирование. Актуальность исследования прорывоопасных высокогорных озер в последние годы возрастает в связи с быстрыми климатическими изменениями, наиболее сильно проявляющимися в областях современного горного оледенения, к которым относится в том числе территория Западного Памира.

В рамках проекта «Батиметрическая съёмка и моделирование возможных прорывов высокогорных озёр на территории Западного Памира, Таджикистан» специалистами АКАН (Таджикистан) совместно со специалистами географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Россия) были проведены батиметрическая съёмка (рис. 1) и моделирование (с использованием специализированных программ) 21 прорывоопасного озера (таблица 1, рис. 2,) с последующей оценкой отдалённых угроз в пределах долин рек Тогузбулок, Гунт, Шахдара, Бартанг, Пяндж и их водосборных бассейнов. Кроме того, применялись методы полевых маршрутных обследований (рис. 3-5) и анализа космоснимков, проводилась съёмка с БПЛА. Последующая обработка собранных данных и формирование баз данных осуществлялись в ГИСпрограммах: Reef Master Sonar Viewer, GPS Utility, Global Mapper, ArcGIS, Google Earth.

Результаты батиметрических съёмок озёр приведены в таблице 1.



Рис. 1. Процесс проведения батиметрической съёмки озера в верховьях р. Шазуддара (бассейн р. Гунт), 2019 г.

Fig. 1. Bathymetric survey of the lake in the Shazuddara River upper reaches (Gunt River basin), 2019

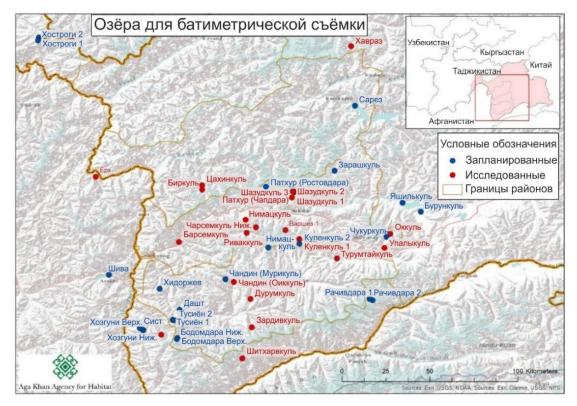


Рис. 2. Схема расположения высокогорных озёр Памира, для которых были проведены или в будущем планируются батиметрические съёмки с последующим моделированием прорывных селевых и водных потоков

Fig. 2. Location scheme of high-mountain Pamir lakes, for which bathymetric surveys have been carried out or are planned in the future, with subsequent modeling of outburst-triggered debris flows and floods



Рис. 3. Транспортировка грузов через реку Шазуддара для проведения батиметрической съёмки

Fig. 3. Transportation of cargoes across Shazuddara River for bathymetric survey



Рис. 4. Полевой лагерь экспедиции к высокогорному прорывоопасному озеру

Fig. 4. Field camp of expedition to the high-mountain outburst-prone lake



Рис. 5. Совместная экспедиция специалистов МГУ и АКАН к озеру Варшезкуль, 25.07.2018

Fig. 5. Joint expedition of MSU and AKAH specialists to Varshedzkul Lake, 25 July 2018

## Результаты исследований

В ходе батиметрических съёмок (рис. 1) и моделирования прорывных паводков и селей проводилась также инвентаризация высокогорных озёр, оценка их состояния, степени устойчивости плотин и характеристика долин рек ниже по течению до населенных пунктов, находящихся в потенциально опасной зоне. Было установлено, что в пределах деградирующих моренно-ледниковых комплексов расположены наиболее опасные группы озёр, для которых характерны большие объёмы содержащейся в них воды, каскадное расположение, неустойчивые плотины, а также нестабильное состояние берегов и ложа. Кроме того, наблюдаются: сокращение площадей ледников, сопровождающееся появлением новых озёр у их краевых частей; формирование эрозионных врезов в местах впадения притоков и стока воды из озера; просадки по краям озёрных запруд на участках стока и в нижнем бьефе. Данные факторы свидетельствуют о возможности постепенного или быстрого перехода исследуемых озёр от безопасного к прорывоопасному состоянию. Данная тенденция, очевидно, будет усиливаться в связи с

наблюдающимися в данном регионе изменениями климата. Приведем некоторые результаты исследования озёр, расположенных в долинах рек Западного Памира.

Безымянное озеро в верховьях р. Шорипдара (левый приток р. Гунт)

Река Шорипдара является левым притоком Гунта. В ее приустьевой зоне находится село Колхозобод, расположенный на берегу озера Барсемкуль, сформировавшегося в июле 2015 г. вследствие схода селя по долине реки Барсемдара [Черноморец и др., 2015]. Бассейн Шорипдары состоит из бассейнов двух ее составляющих, сливающихся примерно в 2 км выше впадения реки в Гунт. Это бассейн правой составляющей — реки Колхозобод (Зиздара) — и собственно бассейн реки Шорипдара (левой составляющей).

Бассейн реки Колхозобод довольно компактный (площадь -54,4 км²), длина основного русла реки составляет 15 км. В верховьях развито оледенение, а у краев наиболее крупных карово-долинных ледников находятся 3 приледниковых озера (19, 20 и 21, рис. 6).

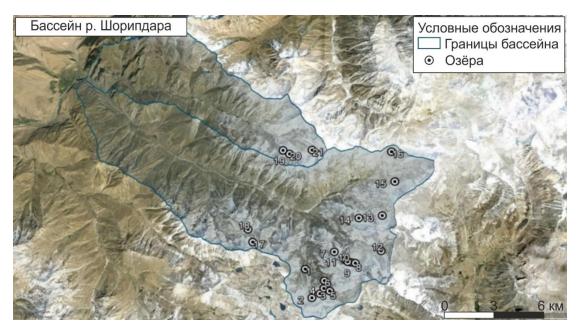


Рис. 6. Космоснимок (Google Earth) водосборного бассейна р. Шорипдара с отмеченными на нём высокогорными приледниковыми озёрами (всего – 21 озеро)

Fig. 6. Satellite image (Google Earth) of the Shoripdara River catchment with marked high-mountain glacial lakes (21 lakes)

Площадь бассейна реки Шорипдара на участке до слияния с рекой Колхозабад значительно больше - она составляет 133 км<sup>2</sup>, длина основного русла (от истока до впадения в Гунт) - 23 км. У Шорипдары речная сеть более развита, имеется несколько боковых притоков, как по левому, так и по правому борту. В верховьях как основной реки, так и ее притоков имеются ледники, ниже которых расположены 4 больших и 14 более мелких ледниковых озера (рис. 6-8).

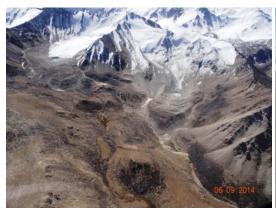




Рис. 7. Каменные глетчеры и приледниковые озера в верховьях реки Шорипдара, исследованные специалистами АКАН в ходе аэровизуальных наблюдений в сентябре 2014 г.

Fig. 7. Rock glaciers and glacial lakes in the upper reaches of the Shoripdara River, studied by AKAH specialists during aerial observations in September 2014



Рис. 8. Одно из приледниковых озёр в верховьях реки Шорипдара

Fig. 8. One of the glacial lakes in the Shoripdara River upper reaches

По руслу Шорипдары уже отмечались сходы селевых потоков и паводков, связанных с прорывами отдельных небольших озёр в верховьях реки, которые приводили к приостановке движения по Памирскому тракту, соединяющему Таджикистан, Кыргызстан и Китай.

В этом бассейне наблюдаются увеличение объёмов и площадей озёр, отступание ледников, снижение устойчивости плотин, удерживающих озёра, исчезновение раннее существовавших мелких озёрных образований. Наличие в приустьевой части реки Шорипдара подпрудного озера Барсемкуль увеличивает уровень риска в этом районе. Так, вероятный прорыв каскадно расположенных в верховьях Шорипдары высокогорных озёр может усилить неустойчивость озера Барсемкуль, поскольку в результате такого прорыва велика вероятность формирования катастрофического селя, аналогичного по объёмам Барсемскому селю (т.е. около 4 млн м³).

Время добегания пика такого селевого потока с максимальным расходом более  $600 \text{ м}^3$ /с до села Колхозобод составит 0.8 ч. Максимальный расход потока у села

Колхозобод составит 515 м $^3$ /с, при этом само село затоплено не будет. Селевой материал может частично занести озеро Барсемкуль в районе, что приведет к дополнительному подпору этого водоёма и может стать причиной его прорыва. Объём прорывного селевого потока из озера Барсемкуль в этом случае оценивается в 2,2 млн м $^3$  с максимальным расходом 250 м $^3$ /с [Кидяева и др., 2018].



Рис. 9. Приостановка движения по Памирскому тракту на участке его пересечения рекой Шорипдара в паводковый период 17.08.2016

Fig. 9. Temporary stop of traffic on the Pamir Highway at the site of its intersection by the Shoripdara River during the flood period on 17 August 2016

## Озёра в верховьях р. Патхур-Чапдара (правый приток р. Гунт)

Река Патхур является правым притоком Гунта и впадает в него в 89 км выше устья последнего на абсолютной отметке 3000 м. На конусе выноса по обоим берегам реки расположен крупный кишлак Патхур. Долина реки Патхур выработана крупным древним долинным ледником и днище её находится почти на одном высотном уровне с днищем долины р. Гунт (в отличие от большинства других притоков, имеющих приустьевую ступень). В верховьях Патхура и в настоящее время сохранился один из крупнейших ледников Рушанского хребта — долинный ледник Штеклозар. В пределах морен и малоподвижных массивов льда в верховьях долины имеются 2–3 потенциально прорывоопасных озера, однако они относительно небольшие (площадь — 15–17 тыс. м²) и расположены среди обширных выположенных моренно-ледовых массивов. Вследствие этого при потенциальном прорыве значительная часть воды будет поглощена рыхлой толщей, а сам паводок — сглажен. Формированию селевого потока препятствуют также небольшие уклоны дна долины (20–30‰) и наличие двух протяжённых внутридолинных расширений в 12 и 13 км выше устья.

Одно из наиболее прорывоопасных озёр (Чапкуль) бассейна реки Патхур находится в верховьях левой составляющей (реки Чападара Разломная) её левого притока (реки Чапдара). Первые работы по оценке состояния приледникового озера Чапдара были проведены еще в 2010 г. и отражены в отчёте «Отдаленные геологические угрозы в высокогорных регионах Таджикистана» [Шнайдер, Мергили, 2010].

Общая характеристика состояния приледниковых озер бассейна р. Чапдара была выполнена в 2018 г. [Черноморец и др., 2018]. В августе 2019 г. было проведено дообследование долины р. Чапдара Разломная. Целью работ стало уточнение параметров крупного прорывоопасного озера в её верховьях (в первую очередь, измерение глубин и определение объёмов воды), состояния плотины и особенностей строения долины по пути движения возможного прорывного паводка/селя. Обследование имело неожиданный результат: выяснилось, что в период с конца лета 2018 г. по начало лета 2019 г. произошел спуск большей части воды из озера (рис. 10) и её уровень к моменту обследования 6 августа 2019 г. понизился на 6,6 м относительно максимального. При этом плотина озера не имела никаких признаков разрушения, а ниже по долине не отмечалось следов прохождения сколько-нибудь заметного паводка. Наряду с возникающим вопросом: как было спущено озеро, — напрашивается вывод о том, что угроза его прорыва и возможного выдающегося паводка/селя по долине миновала.

Морфометрические характеристики озера Чапкуль, согласно проведенной в 2019 г. батиметрической съёмке, приведены в таблице 1.

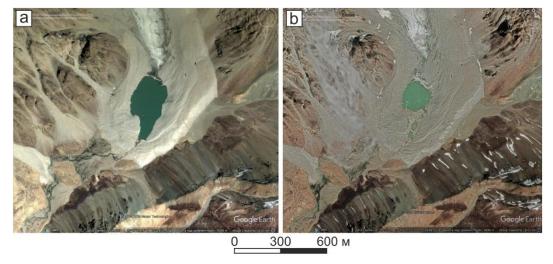


Рис. 10. Озеро Чапкуль 20.08.2008 (a) и 15.08.2019 (b). Снимки с сервиса Google Earth

Fig. 10. Chapkul Lake on 20 August 2008 (a) and 15 August 2019 (b). Images from Google Earth service

# Озёра в верховьях ручья Пишдара

Долина ручья Пишдара выходит к долине р. Гунт с юга (слева) в 96 км выше устья последнего. Эта долина примечательно тем, что из нее в долину Гунта выдвинута внушительная, с несколькими ярусами, бугристо-западинной поверхностью лопасть старого, возможно, пульсирующего ледника. Она полностью перекрыла днище долины Гунта и отжала его к правому борту. Ширина стесненного, врезанного русла Гунта местами не превышает 25 м. Озеро Пишкуль расположено у южной оконечности Шугнанского хребта в 100 км от г. Хорога, в 15 км от центра джамоата Ванкала, и более чем в 10 км от кишлака Пиш.

Первые работы по оценке состояния приледникового озера Пишкуль приведены в отчёте Ж.Ф. Шнайдера и М. Мергили [2010]. Первое наземное обследование было выполнено 14 июня 2014 г. специалистами АКАН в рамках проекта COSE I (Creating Opportunities in a Safe Environment. Phase I). Основное внимание уделялось прилегающим к озеру склонам, которые могут создать предпосылки для активизации опасных процессов.

Последние пешие маршрутные обследования долины ручья и озера проводились в августе 2019 г. специалистами АКАН. Эти результаты приведены в отчёте

«Батиметрическая съёмка озёр Кофарендара, Пиш, Чарсемдара, Шитхарв и Чапдара и моделирование возможных прорывов» [Черноморец и др., 2019].

В последние годы отмечается быстрый рост ближайшего к краю активного ледника озера (условное название – Пишкуль Верхнее) и имеются предпосылки к его спуску, в том числе с образованием прорывного паводка (рис. 11).

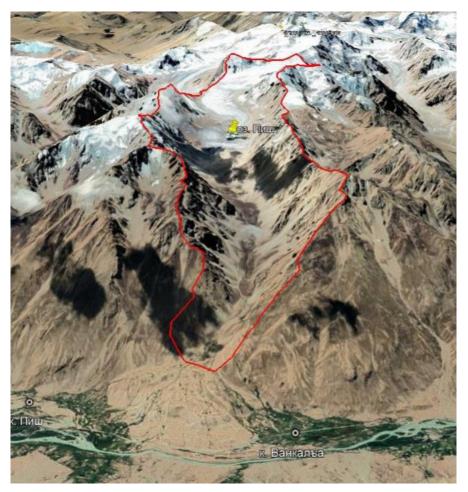


Рис. 11. Космоснимок с сервиса Google Earth, на котором показано местоположение ледникового озера Пишкуль Верхнее (жёлтая метка) в верхней части бассейна ручья Пишдара (границы бассейна показаны красной линией)

Fig. 11. Google Earth satellite image, which shows the location of Pishkul Upper glacial lake (yellow mark) in the upper reaches of the Pishdara Stream (catchment boundaries are shown with red line)

После 2008 г. рост размеров озера Пишкуль Верхнее продолжился. В период рекогносцировочного обследования 8 августа 2014 г. сотрудниками АКАН было установлено, что обособленные плёсы озера уже соединились между собой, а отступание высоких обрывистых ледовых стенок левого берега озера продолжилось.

К августу 2019 г., в период наивысших летних уровней воды, площадь акватории озера Пишкуль Верхнее увеличилась вдвое по сравнению с 2008 г. — до 84500 м². Максимальная длина озера выросла до 530 м (с 440 м в 2008 г.), пирина северного плёса — до 240 м (со 170 м в 2008 г.), южного — до 170 м (со 130 м в 2008 г.). Кромка активного льда практически отступила от озера — под языком ледника образовалась отмель шириной 25—40 м, притапливаемая при максимальном наполнении водоёма и обсыхающая при падении уровней. Чаша водоёма увеличилась за счет протайки мертвых льдов левого берега и образования здесь округлых заливов с ледовыми стенками. Также были затоплены мелководья на месте каменных высыпок, разделявших отдельные плёсы озера в 2008 г., и отмель у юго-восточного края озера Пишкуль Верхнее.

Питание озера происходит за счет таяния ледника. Сброс воды с верхнего озера (рис. 12), осуществляется по выработанному тальвегу в восточном направлении, где расположено нижнее, более мелкое озеро, находящееся в стадии развития. Образование верхнего озера связано с отступлением языковой части ледника и сокращением фирновых полей. До 2014 г. за данным озером наблюдения не велись.



Рис. 12. Верхнее ледниковое озеро в верховьях ручья Пишдара

Fig. 12. Upper glacial lake in the upper reaches of the Pishdara Stream

9–10 августа 2019 г. в ходе проведения батиметрической съёмки озер долины р. Гунт была организована разведочная экспедиция с целью обследования доступности вьючной тропы и места для полевого лагеря при проведении батиметрической съёмки ледниковых озер в верховьях ручья Пишдара.

В результате полевого маршрута специалистами АКАН было выявлено, что долина ручья Пишдара является очень труднодоступной, и заброска оборудования для батиметрических работ на вьючном транспорте является невозможной.

Группа провела визуальную оценку состояния озера в верховьях ручья Пишдара на момент 10 августа 2019 г. и выявила 5 каскадно расположенных ледниковых озер.

Наиболее опасным по результатам визуальных наблюдений считается озеро Пишкуль Верхнее (рис. 12). В ходе маршрутного обследования наблюдалось интенсивное таяния ледника, на котором расположено озеро, особенно в районе плотины. При неблагоприятном сценарии по долине Пишдары может пройти крупный селевой поток с объёмами выноса до 500 тыс. м<sup>3</sup>. На выходе в долину р. Гунт есть угроза значительного ущерба: при отклонении селевого потока влево пострадает кишлак Ванкала, при прохождении его по центру селевого русла возможно перекрытие на некоторое время Гунта, что вызовет приостановку автомобильного сообщения по Памирскому тракту.

# Озёра в верховьях руч. Чарсемдара

Озёра Чарсемкуль расположены в бассейне реки Гунт, в верховьях ручья Чарсемдара, в 18 км к юго-западу от села Чарсем. 12—14 августа 2019 г. этот бассейн был обследован в ходе пешего маршрута в рамках проекта «Батиметрическая съёмка и моделирование высокогорных озёр Западного Памира» специалистами географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Россия) и АКАН (Таджикистан) (рис. 13). Продолжительность маршрута составила 3 дня. Изучалась долина ручья и прилегающие

склоны, активизация процессов на которых может привести неблагоприятным последствиям.



Рис. 13. Озеро Чарсемкуль нижнее, расположенное в верховьях ручья Чарсемдара (левый приток р. Гунт). Участники батиметрической съемки озера. Август 2019 г.

Fig. 13. Charsemkul Lower Lake, located in the upper reaches of Charsemdara Stream (left tributary of Gunt River). Participants of bathymetric survey of the lake. August 2019

Количество озёр в верховьях ручья Чарсемдара — 4. Группой были изучены 2 озера — нижнее и среднее, а 2 озера не обследовались, так как расположены непосредственно в ледниковом каре. Батиметрическая съёмка проводилась на одном озере (Чарсемкуль нижнее), являющемся самым большим по объёму и площади (таблица 1).

Озёра Кофаренкуль в верховьях долины р. Гармчашма (правый приток р. Пяндж)

По долине руч. Кофарендара (левый приток Чуржа – истока Гармчашмы) в августе 2008 г. сошел селевой поток (рис. 14), сформировавшийся в результате прорыва ледникового озера, расположенного в верховьях этого водотока. В ходе пешего маршрутного обследования, проведенного специалистами АКНА, было установлено, что прорыв озера происходил через грот, расположенный в тыловой части водоёма (рис. 15). Развитию такого сценария способствовало повышение температурного режима и откол ледника в чашу озера. Селевые отложения перегородили основную долину Гармчашмы образовав подпрудное озеро. Спуск воды из него спровоцировал прорывной сель, унесший часть пасшегося в долине скота, смывший мосты, автодорогу, головные части оросительных сетей. Существовала также угроза для жилых зон и населения, проживающего ниже по долине Гармчашмы.

В настоящее время в верховьях ручья Кофарендара, а также в соседних бассейнах притоков Гармчашмы существует ряд ледниковых озер. Они расположены преимущественно на языках ледников или в пределах льдосодержащих морен. Некоторые из озер имеют стабильный поверхностный сток, а другие — систему подземных каналов стока, проходящих под телом ледников или моренных массивов. Визуально прорывоопасных форм ледниковых озер в долине Гармчашмы не обнаруживается. Тем не менее, объем сведений о состоянии ледников и погребенных льдов, на которых расположены озера, а также о наличии внутриледниковых и

внутриморенных водоёмов крайне ограничен. Кроме того, будущая динамика моренноледниковых комплексов и особенности развития других геологических процессов в верхних частях долин могут способствовать увеличению степени прорывоопасности. Поэтому, сравнительно большое озеро в верховьях ручья Кофарендара и другие озёра, выявленные в верховьях Гармчашмы, требуют повышенного внимания и мониторинга.



Рис. 14. Отложение селевого потока, сошедшего в августе 2008 г. по боковому притоку р. Гармчашма. Снимок с сервиса Google Earth

Fig. 14. Deposit of debris flow descended in August 2008 along side tributary of Garmchashma River. Images from Google Earth service



Рис. 15. Грот, образовавшийся в теле ледника в результате прорыва озера Кофаренкуль в августе  $2008 \, \mathrm{r}$ .

Fig. 15. Grotto formed in the body of the glacier as a result of the Kofarenkul Lake outburst in August 2008

В связи с этим в августе 2019 г. специалистами АКАН была проведена батиметрическая съёмка озера Кофаренкуль (рис. 16) с последующим моделированием паводков и селей в случае его прорыва (моделирование осуществлялось совместно со специалистами географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова). Состояние плотины этого водоёма оценивается как крайне неустойчивое в связи с интенсивным таянием ледника и, как следствие, её разрушением. Наблюдается образование провалов, обвалов, трещин закола и протекание термокарстовых процессов на теле ледника. Морфометрические характеристики озера приведены в таблице 1.

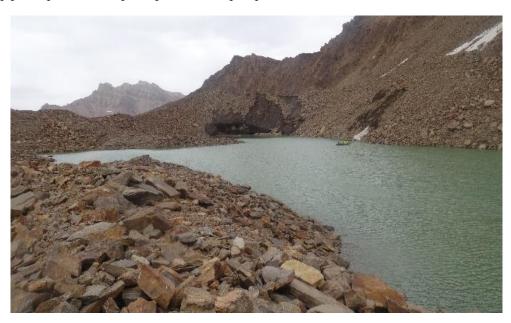




Рис. 16. Процесс проведения батиметрической съёмки озера Кофаренкуль в августе 2019 г.

Fig. 16. Bathymetric survey of Kofarenkul Lake in August 2019

Озёра в верховьях р. Даштдара (левый приток р. Шахдара)

Площадь бассейна реки Даштдара составляет 31,5 км $^2$  (без учёта селевого конуса выноса), длина основного русла — 10,2 км, суммарная площадь ледников в верховьях реки ~1 км $^2$ .

Днище ледникового цирка в верховьях долины р. Даштдара заполнено льдосодержащей моренной массой, которая представлена двумя крупными каменными глетчерами. На этих глетчерах до 2002 г. располагалось 2 сравнительно крупных термокарстовых озера. 7 августа 2002 г. произошёл прорыв одного из них, расположенного правее. В результате сформировался катастрофических селевой поток, приведший к гибели 24 человек и значительным разрушениям ниже по долине самой Даштдары и далее по долине Шахдары [Mergili, Schneider, 2011].

Прорыв озера, вероятнее всего, был связан с активизацией каменного глетчера, приведшей сначала к блокировке каналов подземного стока, которая в свою очередь привела к наполнению котловины озера до максимального уровня. Последовавшая затем разблокировка каналов стала причиной прорыва озера подземным путём [Докукин и др., 2020].

В настоящее время каменные глетчеры сохраняют свою активность. Об этом свидетельствуют многочисленные, трещины, термокарстовые воронки и западины на их поверхности, активное осыпание на их уступах. Ледник, расположенный выше глетчеров, сверху покрыт четвертичным чехлом (обвально-осыпными и делювиальными отложениями).

Общая площадь каменноглетчерного тела составляет 1 216 702 м<sup>2</sup>, объём – ~97 336 160 м<sup>3</sup>. Вся масса талой воды из расположенного выше ледника проходит через тело каменного глетчера. Также наблюдается продвижение левого каменного глетчера вниз по долине реки. Сток из озера Дашт, существующего в настоящее время на теле этого каменного глетчера, осуществляется преимущественно подземным путём (рис. 17). Тыловая часть глетчерного тела сильно просела, там происходит формирование термокарстовых воронок и западин, что в будущем будет способствовать образованию озёр и накоплению в них воды.



Рис. 17. Совместная экспедиция сотрудников АКАН и представителей Хукумата Рошткалинского района на озеро Дашт в верховьях реки Даштдара

Fig. 17. Joint expedition of AKAH specialists and representatives of Roshtkala District Khukumat to Dasht Lake in the Dashtdara River upper reaches

Увеличение летних температур и закономерное повышение увлажненности тела каменного глетчера талыми снеговыми и ледниковыми водами будет усиливать его пульсации. Такие случаи представляют реальную угрозу повторения событий 2002 г., то есть прорыва сохранившегося озера Дашт с последующей трансформацией прорывного потока в селевой. При это вновь возникнет угроза для кишлака Дашт, а кроме того, для населенных пунктов и объектов инфраструктуры, расположенных в долине реки Шахдара при ее перекрытии и формировании подпрудного озера. К сожалению, после

катастрофы 2002 г. вновь началось освоение и строительство жилых домов и социальных объектов на селевом конусе выноса р. Дашт, что, безусловно, является недопустимым в условиях нависающей над кишлаком угрозы. В целом угроза будущих прорывных селей для кишлака Дашт оценивается как очень высокая.

Обобщённые характеристики исследованных озёр

По результатам анализа проведённых в 2015–2019 гг. батиметрических съёмок озёр Западного Памира (ГБАО, Таджикистан) были составлены диаграммы распределения их площадей, объёмов и максимальных глубины (рис. 18–20).

Изменение количества и размеров высокогорных озёр, состояния их плотин, а также постепенный или быстрый переход от безопасного непрорывоопасного режима к прорывоопасному возможны и в других долинах ГБАО. Такие примеры приведены ниже.

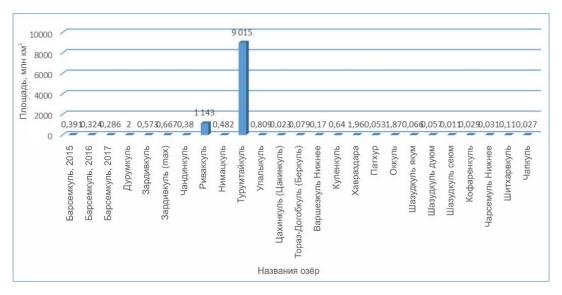


Рис. 18. Диаграмма распределения площадей исследованных озёр

Fig. 18. Diagram of the area distribution of the investigated lakes

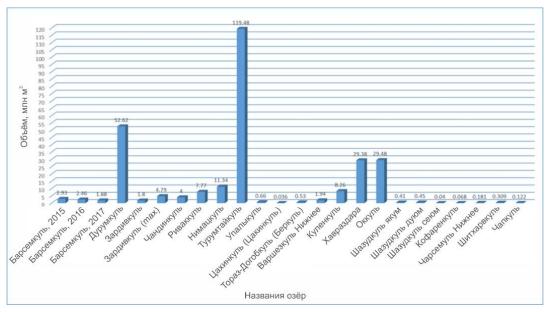


Рис. 19. Диаграмма распределения объёмов исследованных озёр

Fig. 19. Diagram of the volume distribution of the investigated lakes

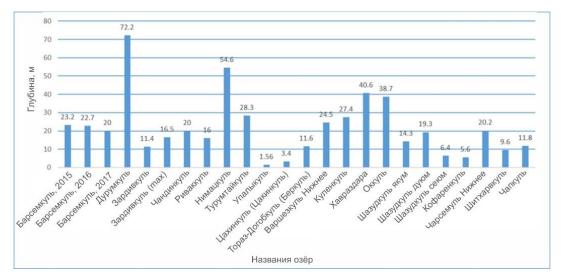


Рис. 20. Диаграмма распределения максимальных глубин исследованных озёр

Fig. 20. Diagram of the maximum depth's distribution of the investigated lakes

## Озёра в бассейне р. Пяндж (Ишкашимский район)

К прорывоопасным относятся озёра Хозгуни Верхнее и Нижнее в верховьях левого притока реки Гармчашма (правый приток р. Пяндж), озеро Сист в верховьях реки Дараисист (правый приток р. Пяндж), Рачивдара (правый приток р. Памир – правой составляющей Пянджа).

Значительная опасность, связанная с селевыми потоками прорывного генезиса, существует также в следующих бассейнах правых притоков Пянджа и Памира (у слияния Памира с Вахандарьёй): Нишгар, Дриж, Зугванд и Киштиджароб. Все они начинаются у языков одноименных ледников, характеризующихся периодическими пульсациями [Долгушин, 1993]. Их быстрые подвижки могут привести к формированию ледниковых подпруд с последующим образованием прорывоопасных озёр.

## Озёра в долине р. Шахдара (Рошткалинский район)

Здесь к прорывоопасным относятся озёра в верховьях следующих рек и ручьёв: Хидорджевдара, Тусиёндара, Нимацдара, Бодомдара, Чандиндара (озёра Мурикуль и Оиккуль).

# Озёра в долине р. Гунт (Шугнанский район)

К прорывоопасным озёрам в долине р. Гунт, помимо перечисленных выше, относятся также озёра Куленкуль (расположено в верховьях р. Дузахдара), озёра в верховьях основного истока р. Патхур (оз. Ростовдара), в верховьях рек Упалысой (правый приток р. Тогузбулок, оз. Чукуркуль), верховья р. Баччор (Зорташкуль) и т.д.

# Озёра в долине р. Бартанг (Рушанский район)

Здесь хотелось бы отметить озеро в верховьях р. Девлохдара (Басиддара) – левого притока Бартанга.

Кроме того, отмечается появление новых прорывоопасных озёр в языковых частях и на теле причисленных ниже ледников в **долине р. Ванч** (Ванчский район):

- левый борт р. Ванч: Дараи Рог, Гумаяк, Гиджоваст, Рованд, Сумгад, Шогадо, Дастирост, Федченко;
- правый борт р. Ванч: Абдукагор, РГО, Медвежий, Дараи Мазор, Мургутга, Ширговад, Сед, Арнавад, Бунай, Техарвдара, Рохарв.

## Озёра в долине р. Хостроги (Дарвазский район)

В верховьях реки Хостроги расположены 2 прорывоопасных озера: Хостроги 1 и Хостроги 2.

Безусловно, приведенный выше список не исчерпывающий. Как уже было сказано, ситуация в верховьях рек крайне динамична и озёра здесь активно формируются и исчезают.

Риски, связанные с прорывами высокогорных озёр и рекомендуемые инженерные защитные мероприятия

В ходе проводимых в течение нескольких лет работ для речных долин Западного Памира была адаптирована двумерная модель движения водных и селевых потоков FLO-2D. С её помощью выполнялись сценарные расчёты характеристик затопления, потенциальной опасности и времени добегания прорывных селей и паводков в случае прорывов озёр. Согласно полученным данным, был сформулирован перечень рекомендованных инженерные мероприятий с целью снижения рисков при прорывах высокогорных ледниковых озёр (таблица 2).

#### Заключение

С учетом результатов моделирования селевых потоков и паводков, связанных с прорывами высокогорных озёр, и оценки отдалённых угроз на территории Горной Бадахшанской автономной области Таджикистана рекомендуется:

- Проводить регулярный мониторинг высокогорных озёр, ледников и в целом водосборных бассейнов, где эти озёра расположены, с использованием методов дистанционного зондирования, аэровизуальных наблюдений с вертолёта и пеших маршрутных обследований.
- Провести батиметрическую съёмку и моделирование ещё не исследованных прорывоопасных озёр.
- Рассмотреть вариант строительства защитных селеотбойных стенок по берегам селеопасных русел, а также их расчистки, выпрямления и углубления в районе конусов выноса.
- Установить системы раннего оповещения населения в селеопасных долинах.
- Проводить измерения расходов рек и собирать в базы данных информацию о текущих опасных природных процессах и явлениях.
- Продолжать работу по повышению информированности и уровня подготовки населения в кишлаках, расположенных ниже по течению от прорывоопасных озёр. Обучать их принципам поведения в случае возникновения стихийных бедствий.
- По возможности осуществить проект контролируемого опорожнения озёр, характеризующихся высоким риском прорыва.
- Приступить к изучению ледников, многолетней мерзлоты и других водных ресурсов территории Таджикистана.

В целом, правильный выбор и реализация мероприятий по предотвращению и смягчению последствий стихийных бедствий может сократить до минимума риски от селевых потоков и паводков, формирующихся в результате прорывов высокогорных озёр.

Климатические изменения, активно проявляющиеся в Центральной Азии (в т.ч. на Западном Памире), приводят к целой серии неблагоприятных и опасных процессов и явлений (деградации ледников, формированию и исчезновению горных озёр), а кроме того оказывают отрицательное влияние на разные сферы жизни: здравоохранение (меняются условия окружающей среды), сельское хозяйство (происходит потеря пастбищ и вывод из обращения плодородных земель), водное управление, транспортную инфраструктуру, энергетику. Для успешного существования местных сообществ в таких быстро меняющихся условиях крайне необходимо увеличивать уровень информированности населения и его готовности к действиям в случае чрезвычайных ситуаций.

Таблица 2. Риски, связанные с прорывами высокогорных озёр Западного Памира, их последствия и рекомендуемые инженерные мероприятии

Table 2. Risks associated with high-mountain lake outbursts in the Western Pamir, their consequences and recommended engineering measures

Приток	Прорывоопас- ное озеро	Населённые пункты в зоне затопления	Минимаьное время добегания до населённых пунктов, ч	Максимальные скорости селевого потока, м/с	Глубины затопления в районе населённого пункта, м	Рекомендуемые инженерные мероприятия
	Ишка	шимский район, басс	_			
Сарышитхарв	Шитхарвкуль	кишлак Шитхарв	0,5	3-5	3-4	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла, его расчистка, выпрямление и углубление в районе конуса выноса
Гармчашма	Кофаренкуль	кишлаки Гармчашма, Сниб, Андароб	1,3	5-6	1-4	Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения. Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного сая в районе кишлака Гармчашма
		гнанский район, басс	ейн р. ]			
Южный Тогузбулок, Тогузбулок	Турумтайкуль	автодорога, мост, кишлак Джелонди	4	1,5	1	Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения
Упалысой, Тогузбулок	Оккуль	автодорога, мост, кишлак Джелонди	4	1.5	1	Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения.
	Упалыкуль	автодорога, мост, кишлак Джелонди	4	1,5	1	Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения.

Приток	Прорывоопас- ное озеро	Населённые пункты в зоне затопления	Минимаьное время добегания до населённых пунктов, ч	Максимальные скорости селевого потока, м/с	Глубины затопления в районе населённого пункта, м	Рекомендуемые инженерные мероприятия
Шазуддара	Каскад озёр Шазудкуль	кишлак Шазуд (8 строений), кишлак Сардем	1,4	8	5	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла в районе конуса выноса. Мониторинг озёр и установка систем раннего оповещения
Варшездара	Варшезкуль Верхнее и Нижнее	кишлак Варшез, автомобильная дорога на левом берегу р. Гунт	0,1	5-7	4	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла, его расчистка, выпрямление и углубление в районе конуса выноса. Мониторинг озёр и установка систем раннего оповещения
Ривакдара	Риваккуль	кишлак Ривак, частично кишлак Сижд и автомобильная дорога на левому берегу р. Гунт, ГЭС Памир-1	1,8	14-	1	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла, его расчистка, выпрямление и углубление в районе конуса выноса. Мониторинг озёр и установка систем раннего оповещения

Приток	Прорывоопас- ное озеро	Населённые пункты в зоне затопления	Минимаьное время добегания до населённых пунктов, ч	Максимальные скорости селевого потока, м/с	Глубины затопления в районе населённого пункта, м	Рекомендуемые инженерные мероприятия
Нимацдара	Нимацкуль-	кишлаки Нимац и Шитам, автомобильная дорога на левом берегу р. Гунт и ниже по р. Гунт	1	4-5, до 14	2-3	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла, его расчистка, выпрямление и углубление в районе конуса выноса. Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения
Чапдара, Патхур	Чапкуль	кишлак Патхур (2 строения)	1	5	2	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла. Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения
Пишдара	Пишкуль Верхнее и Нижнее	кишлаки Пиш и Ванкала, автомобильная дорога, на левом берегу р. Гунт и ниже по р. Гунт	0,2-0,3	1,5-3	3-4	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла, его расчистка, выпрямление и углубление в районе конуса выноса. Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения

Приток	Прорывоопас- ное озеро	Населённые пункты в зоне затопления	Минимаьное время добегания до населённых пунктов, ч	Максимальные скорости селевого потока, м/с	Глубины затопления в районе населённого пункта, м	Рекомендуемые инженерные мероприятия
Чарсемдара	Чарсемкуль	кишлак Чарсем, автомобильная дорога, на левом берегу р. Гунт и ниже по р. Гунт (10 строений)	1,5	7	3	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла, его расчистка, выпрямление и углубление в районе конуса выноса. Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения
-	Барсемкуль	автодорога, кишлаки Бердикобод, Манем, Питодашт, Богев, Даштак, Сангов, Бидурд, отдельные строения в восточной части Хорога	2	до 7	до 2	Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения. Снижение уровня озера при его максимальном наполнении
Шорипдара	каскад озёр	кишлаки Колхозобод, Барсем, Бердикобод, автомобильный мост и автодорога	0,8	8- 15	10- 15	Мониторинг озёр и установка систем раннего оповещения. Организация гидрологического поста для наблюдений за динамикой уровня воды в р. Шорипдара. Строительство автомобильного моста с учётом максимальных селей
Рошткалинский район, бассейн р. Шахдара						
Дирумдара	Дурумкуль	строения и пастбища в пойме р. Шахдара,	2	3-5	1	Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения

Приток	Прорывоопас-	Населённые	В		e	Рекомендуемые
Приток	ное озеро	писеленные пункты в зоне затопления	Минимаьное время добегания до населённых пунктов, ч	Максимальные скорости селевого потока, м/с	Глубины затопления в районе населённого пункта, м	<b>гекомендуемые</b> инженерные мероприятия
			Мин	M		
Зардивдара	Зардивкуль	пос. Сежд до г. Хорог вниз по течению реки	1,1	до 2	3	Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения
Чандиндара	Чандинкуль	автодорога, автомобильный мост, кишлак Бидеч на правом берегу р. Шахдара и ниже по течению р. Шахдара	2.4	до 12	2	Мониторинг озер и установка систем раннего оповещения
		анский район, бассей				
Хавраздара	Хавраздара	кишлак Пасор	0,8	5-8	7,5	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла в районе конуса выноса. Мониторинг озера и установка систем раннего оповещения
Джизевдара	каскад озёр Джизев	кишлак Джизев	2,3	3-5	2	Строительство селеотбойных стенок по берегам селеопасного русла. Мониторинг озер и установка систем раннего оповещения

## Список литературы

Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. Каменные глетчеры – очаги формирования катастрофических селей // ГеоРиск. 2020. Том XIV. № 2. С. 52–65. https://doi.org/10.25296/1997-8669-2020-14-2-52-65.

Долгушин Л.Д. Пульсирующие ледники // Оледенение Памиро-Алая. М.: Наука, 1993. С. 219-226. Кидяева В.М., Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.Н., Докукин М.Д., Висхаджиева К.С., Бобов Р.А., Пирмамадов У.Р., Мародасейнов Ф.О., Раимбеков Ю.Х., Курбонмамадов Д.А. Моделирование прорывов горных озер и селевых потоков в Горно-Бадахшанской автономной области, Таджикистан // Международная научно-практическая конференция Третьи Виноградовские Чтения. Грани гидрологии памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова. СПб.: СПбГУ, 2018. С. 897–902.

- Мухаббатов Х.М. Водные ресурсы Таджикистана и проблемы водопользования в Центральной Азии // Проблемы постсоветского пространства. 2016. №. 3. С. 29-45.
- Мякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер. СПб.: РГТМУ, 2009. 160 с.
- Пирмамадов У.Р. Селевые потоки в результате прорывов высокогорных гляциальных озёр на территории Горно-Бадахшанской автономной области Таджикистана (из опыта работ международной организации «Фокус гуманитарная помощь») // Геориск. 2013. № 2. С. 20–23.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 14. Средняя Азия. Выпуск 3. Бассейн р. Амударьи. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 472 с. Режим доступа: http://www.cawater-info.net/library/rus/hist/resources-amudarya/
- Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Бобов Р., Асматов Н., Мавлоназаров О., Мирмамадов Д., Пирмамадов У., Шафиев Г. Селевые потоки в долине реки Барсемдара в июле 2015 г. и подпрудное озеро Барсемкуль на реке Гунт (Горно-Бадахшанская автономная область, Таджикистан) // Международная научно-практическая конференция «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии». СПб.: СПбГУ, 2015. С. 261-264.
- Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Кидяева В.М., Рудой А.Н., Висхаджиева К.С., Аршинова М.А., Куровская В.А. Батиметрическая съемка озёр Куленкуль (Дузахдара), Варшезкуль, Патхур (Чапдара), Джизев, Хавраздара и моделирование возможных прорывов. Отчет. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2018. 278 с.
- Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Кидяева В.М., Лукашов А.А., Висхаджиева К.С., Аршинова М.А., Куровская В.А. Батиметрическая съемка озёр Кофарендара, Пиш, Чарсемдара, Шитхарв и Чапдара и моделирование возможных прорывов. Отчёт. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2019. 265 с.
- Шафиев Г.В. Особенности проявлений селевых процессов и опыт международной организации «Фокус Гуманитарная Помощь» в разработке современных методов защиты от них в условиях Горного Бадахшана (Таджикистан) // Геориск. 2013. № 1. С. 53–59.
- Шафиев Г.В. Природные угрозы, связанные с прорывоопасными озерами Горного Бадахшана в бассейне реки Шахдара (Таджикистан) // Геориск. 2014. № 1. С. 40–45.
- Шнайдер Ж.Ф. Удалённые геологические угрозы на Юго-Западном Памире, ГБАО, Таджикистан: краткий отчёт, составленный Швейцарским Управлением по Развитию и Сотрудничеству (SDC) для МЧС Республики Таджикистан. 2005. 139 с.
- Шнайдер Ж.Ф., Мергили М. Отдаленные геологические угрозы в высокогорных регионах Таджикистана. Душанбе, 2010.
- Яблоков А.А. Сели Таджикистана // Сборник научных трудов. Вып. 18. Пятигорск: OAO «Севкавгипроводхоз», 2009. С. 88-102.
- Mergili M., Schneider J.F. Regional-scale analysis of lake outburst hazards in the southwestern Pamir, Tajikistan, based on remote sensing and GIS // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2011. Vol. 11. P. 1447–1462. https://doi.org/10.5194/nhess-11-1447-2011.