



**Реализация проекта GLOFCA в Таджикистане: моделирование
возможных прорывов ледниковых озер и картирование
опасностей**

**МОНИТОРИНГ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ
ОПАСНОСТИ GLOF ДЛЯ ВЫБРАННЫХ ОЗЕР**

**Составитель,
научный руководитель
профессор А.Каюмов**

Ноябрь -2023

Оглавление

Ведение	3
Состояния вопроса	4
1. Бассейн реки Сурхоб	6
2. Экспедиционная работа	7
3. Методология.....	9
4. Место формирования, транзитной и конечной зоны, гляциального селевого потока от ледниковых озер системы ледника Бырылмас.....	11
5. Мониторинг состояния ледника Барылмас.....	13
6. Результаты использования датчика НОВО	14
7. Моделирование вероятного прорыва озера №3 на поверхности ледника Баральмас с использованием программы RAMMS	16
Выводы.....	24
Литература	25

Ведение

Данная научная работа проведена в рамках проекта GLOFCA. Целью ГЛОФЦА является усиление адаптации к изменению климата в Центральной Азии за счет снижения социальных рисков и уязвимостей, связанных с GLOFCA. ПАМИР — это более широкое партнерство между несколькими швейцарскими и таджикскими организациями, направленное на лучшее понимание состояния и последствий для криосферы в регионе Памира.

Совместно с партнёрами для изучения и моделирования был выбран ледник Барылмас. Ледниковая система Барылмас находится (рис.1) в верховье реки Сурхоб в Ляхшском районе Таджикистана.

Анализ существующих данных показал, что ледник Барылмас демонстрировал повторяющиеся прорывы ледниковых озер (фото 2) в последние годы, в том числе в 2023 году. В период за июль и август было фиксировано 5 селевых потоков. Последствием этого прорыва было полное разрушение участка Международной трассы.

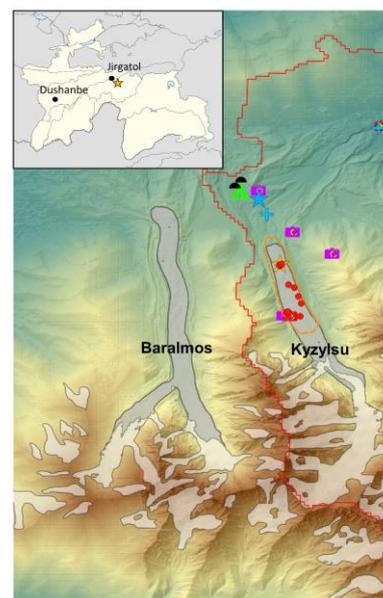


Рис 1. Ледник Барылмас



Фото 2. Разрушенная международная дорога в Ляхшской зоне

Состояния вопроса

Интенсивность таяния снега и ледников в летнее время, вероятно, увеличится, что приведет к образованию приледниковых озер в высокогорье. Некоторые из этих озер, при прорыве естественных плотин, могут создавать угрозу мощных селевых потоков. Другие ледниковые озера ввиду просачивания сквозь гляциальные отложения и постепенное испарение, не представляют большой угрозы. Однако увеличение количества талой воды в теле и на дне ледников усиливает риск их подвижки, обвалов и процессов деградации. По нашим предварительным данным количество ледниковых озер в Таджикистане составляет от 500 до 600. Следует отметить, что их количество меняется из года в год. (А. Каюмов, 2008-2021)

По данным зарубежных авторов Глобальный объём, площадь и численность ледниковых озер увеличились в период с 1990 по 2019 год примерно на 48%, 51% и 53%, соответственно. В Центральной Азии объём озера увеличился примерно на 20 % ((Shugar et al., 2020). Ожидается, что эта тенденция сохранится в условиях потепления климата в мире, когда ледники тают и отступают (Shugar et al., 2020)

В бассейне Амударьи в 1990 году было 500 ледниковых озер, в 2000 году - 556, в 2010 году - 594 (Zhang et al., 2015). В верхнем течении реки Амударьи на Памире (Mergili et al., 2013) нанес на карту 1642 озера, из которых 885 являются эрозионными озёрами, 652 - ледниковыми озёрами и 105 озёрами, захваченными плотинами. Южный Памир является горячим местом для эрозионных озер, в то время как ледниковые озера, очевидно, группируются очень близко к ледниковым районам. Ледниковые озера значительно выросли в размерах в период с 1968 по 2009 год, и наблюдался сдвиг роста ледниковых озер в сторону более возвышенных водосборных бассейнов.

В ГБАО вдоль бассейнов реки Пяндж и ее основных притоков (а именно Гунт, Шахдара, Бартанг) насчитывается более 300 озер. Крупнейшими

являются озера Каракул, Рангкул, Зоркул, Сарез и Яшилкул (Pirmamadov et al., 2020).

На территории Таджикистана насчитывается около 1300 озер, причем некоторые из них находятся на высоте более четырех тысяч метров над уровнем моря.

Картирование и мониторинг озер проводили во время СССР, составляли каталог и реестр этих озер. После развала СССР планомерные и полноценные исследования озер отсутствуют из-за нехватки финансов. Описание и издание которые на данный момент имеются они относятся до 1990 г, но они перизданны.

Что касается ледниковых озер о них данные очень ограничены. Имеется единственный Отчет «Отдаленные геологические угрозы в высокогорных регионах Таджикистана (Оценка угроз, связанных с паводковыми прорывами озер и крупными оползневыми насыпями в выбранных зонах Памиро-Алая) IAG-BOKU Вена, май 2010 г. (рис. 27,28) Данный отчет был подготовлен в период с апреля 2009 г. по май 2010 г. в Университете Природных Ресурсов и Прикладных Биологических Наук (BOKU), Вена, Австрия, Институте Прикладной Геологии в сотрудничестве с Организацией ФОКУС Гуманитарная Помощь в Таджикистане. Оценка финансировалась Швейцарским Агентством по Развитию и Сотрудничеству (SDC), а также Министерством международного развития Великобритании (DFID). Проект также получил поддержку организаций Германского Технического Сотрудничества (GTZ), Германской АгроАкции (GAA), а также Программы Поддержки Развития Обществ Горных Регионов (MSDSP).

Главная цель оценки угроз заключается в том, чтобы улучшить безопасность, качество жизни и устойчивое развитие горных сообществ Таджикистана . Этот вклад будет в предоставлении информации об отдаленных геологических угрозах, чтобы улучшить возможности смягчения последствий, а именно: определять и выделять возможные зоны

происхождения удаленных геологических угроз в выбранных высокогорных регионах; рассчитывать, при каких обстоятельствах и до какой степени подвергаются риску местные общины; оценивать возникшую угрозу и давать рекомендации по ее смягчению.

По данным Ищук Н. (2018) всего было выделено 573 селевых очага, среди которых 338 очагов дождевого типа, 79 смешанного типа, 8 ледникового (гляциального) типа и 148 снежникового типа. Среди них насчитывается 194 опасных очага, могущих нанести вред народно-хозяйственным объектам.

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 и моделирование (с использованием специализированных программ) 21 прорывоопасного озера с последующей оценкой отдалённых угроз в пределах долин рек Тогузбулок, Гунт, Шахдара, Бартанг, Пяндж и их водосборных бассейнов.

Сафаров, М. С., & Фазилов, А. Р. Описывают, что Выявлены изменения боковых границ р. Сурхоб на основе данных, полученных с помощью БПЛА и спутников.

1. Бассейн реки Сурхоб

Река Сурхоб течет с востока на запад, свое название она получает после слияния р. Кызылсу с р. Муксу. На западной границе района она сливается с р. Обихингоу, после чего получает название Вахш. Ниже р. Вахш поворачивает к югу и течет до впадения в Амударью. Таким образом, бассейн Сурхоба — это часть бассейна одной из крупнейших рек горной Центральной Азии, низовья которой называют Вахшем, а верховья-Кызылсу, истоки ее на востоке находятся почти у границы с Китаем.

Северная граница района проходит по осевой линии Алайского и Зеравшанского хребтов и отделяет его от бассейнов Соха и Зеравшана, южная—по гребню хр. Петра Первого, противоположный склон которого принадлежит бассейну р. Обихингоу. К северу от р. Сурхоб длина долин ее притоков, имеющих оледенение в верховьях, равна в среднем 40 км, а к югу — только 10—15 км. Протяженность долины р.Сурхоб с запада на восток составляет 150 км. Площадь бассейна равна 7286 км².

Всего в бассейне р. Сурхоб находится 534 ледника размером более 0,1 км², общей площадью 393,3 км². 148 ледников меньших размеров занимают 7,8 км². Таким образом, средняя площадь одного ледника составляет 0,6 км², а с исключением малых ледников (менее 0,1 км²) —0,74 км².

Основная масса ледников (295,4 км²) пролегает вдоль северной окраины района, на склонах Алайского и Зеравшанского хребтов и их отрогов. В горных цепях, расположенных южнее, ледников меньше: 85,3 км² на склонах Каратегинского хребта и 19,4 км² на северном склоне хр. Петра Первого. В невысоких горах Кабуд-Крым ледники занимают 1,0 км². Крупных ледников в районе очень мало; они располагаются в верховьях основных долин.

Средняя высота нижней границы ледников в правобережье Сурхоба равна 3750 м. Высота концов ледников в общем повышается с запада на восток: в бассейнах Сорбога и Ярхыча эта разница составляет всего 20 м. В бассейне реки Сурхоб обнаружены 71 ледниковых и приледниковых озер.

2. Экспедиционная работа

Данная экспедиция организована в рамках проекта GLOFCA. Целью GLOFCA является усиление адаптации к изменению климата в Центральной Азии за счет снижения социальных рисков и уязвимостей, связанных с GLOFCA.

Ледник Баралмас - сложно - долинный, расположен на северном склоне хребта Петра Первого бассейна реки Сурхоб, координаты –39° 3'17.05" N 71°22'7.81" E.

Целью этой экспедиции является установка оборудования для долгосрочного мониторинга в системе крупных надледниковых озер на леднике Баралмас и вокруг неё и на основе предыдущих данных провести моделирование прорыва ледникового озера.

Задачи:

1. оценка состояния зоны транзита и прилегающие участки;
2. оценка состояния участка реки Кызылсу (Сурхоб), где постоянно сливается селевой поток;
3. оценка состояния международного дорожного полотна на этом участке.

Участники

1. Каюмов Абдулхамид
2. Кабутов Хусрав
4. Каюмова Дилором
5. Давлатова Адолат
6. Наврузшоев Хофиз
7. Искандаров Хандулло
8. Мирзоев Ахад.

Срок экспедиции

	Число	Место или маршрут	примечание
1	1.09.2023	Душанбе-Ляхш	поездка
2	2.09.2023	Ляхш - Кызылсу	Работа на леднике по плану
3	3.09.2023	Ледник Кызылсу	Работа на леднике по плану
4	4.09.2023	Ледник Кызылсу	Работа на леднике по плану
5	5.09.2023	Ледник Кызылсу	Работа на леднике по плану
6	6.09.2023	Ледник Кызылсу	Работа на леднике по плану
7	7.09.2023	Ледник Кызылсу	Работа на леднике по плану
8	8.09.2023	Ледник Кызылсу	Работа на леднике по плану
9	9.09.2023	Ледник Кызылсу	Работа на леднике по плану
10	10.09.2023	Л. Кызылсу -Ляхш	Возвращение с ледника
11	11.09.2023	Ляхш - Душанбе	Возвращение в Душанбе

3. Методология

Эти данные помогут лучше понять гидрологическую связь между озерами и возможные причины прорывов этого ледника. Полученные знания помогут более точно предсказывать будущие прорывы и улучшать дизайн систем раннего предупреждения для других подобных озерных систем в Таджикистане

В 2023 году было установлено оборудование для долгосрочного мониторинга в системе крупных надледниковых озер на леднике Баралмос и вокруг него. Для того чтобы лучше понять гидрологическую связь между озерами и понять возможные причины прорывов этого ледника. Эти данные помогут лучше предсказывать будущие прорывы и улучшать дизайн систем раннего предупреждения для других подобных озерных систем в Таджикистане. До начала проекта GLOFCA ЮНЕСКО мы самостоятельно проводили некоторые наблюдения. Данный проект позволяет нам проводить работы более комплексно. Как показано на рис. 3. в ходе экспедиционных работ были установлены измерительные приборы для наблюдения за состоянием ледниковых озер ледника Барылмас. В последующие годы это нам позволит получить и проанализировать полученные данные.



Фото 3. Ледниковые озера ледника Барылмас с указанием мест установки.

Экспедиция в 2023 году внесет свой вклад в общую программу мониторинга криосферы на ледниках Кызылсу и Барылмас, установленную WSL и GRC в 2022 году. В ходе предыдущих экспедиций датчики уровня и температуры были установлены на самом большом из озер Барылмас. Теперь мы стремимся расширить этот мониторинг, чтобы установить общие инструменты для всех 5 крупнейших надледниковых озер на ледниках Барылмас. Также будут установлены камеры с интервальной съемкой, чтобы обеспечить запись сезонного развития озер и возможно, запечатлеть любой будущий прорыв озер. Кроме того, вокруг озер и на окружающих их крутых горных склонах будут установлены регистраторы температуры поверхности земли для проверки моделей распространения вечной мерзлоты, которые могут быть полезны для оценки опасности камнепадов, GLOFCA и селевых потоков.

При анализе бассейна реки Сурхоб было обнаружено 71 ледниковое озеро, но эти озера по количеству прорывов и объему ущерба значительно уступают ледниковым озерам Барылмас (фото. 4-6).



Фото 4. Ледниковые озера



Фото 5. Ледниковое озеро



Фото 6. Ледниковое озеро

4. Место формирования, транзитной и конечной зоны, гляциального селевого потока от ледниковых озер системы ледника Бырилмас

В 2023 году было зафиксировано пять мощных селевых потоков: 14 июня, 21 июля, 28 июля 31 июля и 7 августа. Все селевые потоки сопровождалось перекрытием русла реки Сурхоб и разрушением международной дороги в районе Ляхш.

Для обследования транзитного пути селевого потока, нами было проведено обследование долины реки Сугат (ущелья Арчакапа) и окрестностей.

Стены ущелья в основном состоят из рыхлой породы, что является причиной неустойчивости и постоянных оползней. Высота перепада от высшей точки до конечной составляет 1300 метров, что является дополнительным фактором, усиливающим разрушающую силу селевого потока. К такому фактору также относится рыхлая порода по бокам ущелья Арчакапа.

Внутрихозяйственные дороги также разрушены, что затрудняет и порой делает невозможным сбор урожая и его доставку на рынок.

Совместно с представителем КЧС Ляхшского района было проведено обследование в окрестностях. На расстоянии 100 и 150 метров от края обрыва было обнаружено множество трещин и признаков начинающихся оползней большого объема (фото.7). По словам представителя КЧС Ляхшского района за последние годы ущелья значительно увеличились. Он показал места, где были заросли и кустарники, которые полностью исчезли. Посередине ущелья сохранился незначительный островок.



Фото 7. Потенциальные участки, где может образоваться оползень

Местами видны громадные оползни, которые наполовину остановились, и при очередном промывании их основания они могут спуститься вниз и перекрыть русло реки.

В ходе обследования русла реки Сугат мы обнаружили большое количество камней внушительных размеров (фото 8), что свидетельствует о большом и мощном селевом потоке по этом русле реки при прорыве ледникового озера.



Фото 8. Крупные камни в русле реки Сугат, эти остатки от селевого потока, который образовался от прорыва ледниковых озер

Следует отметить, что потенциальные оползни и последующий смыв почвы могут составить несколько миллионов тонн глины. А внизу по течению расположены Рогунское и Нурекское водохранилища соответствующие электростанции. Все это может осесть в этих водохранилищах и снизить полезный объем, что приведет к снижению выработка электроэнергии. По данным СМИ в 2023 году одной из основных причин лимита электроэнергии в Таджикистане является уменьшение объема воды в водохранилище Нурекской ГЭС, а не уменьшение стока.

5. Мониторинг состояния ледника Барылмас

Мониторинг поверхности ледника Барылмас позволил нам определить, что ледник является не стабильным, т.е. пульсирующим. По данным мониторинга ледников с помощью радарных спутниковых снимков, которые позволяют определить изменение поверхности ледников показали, что на поверхности ледника Барылмас за последние 20 лет происходит активизация верхней части ледника, которая постепенно продвигается к языковой части.

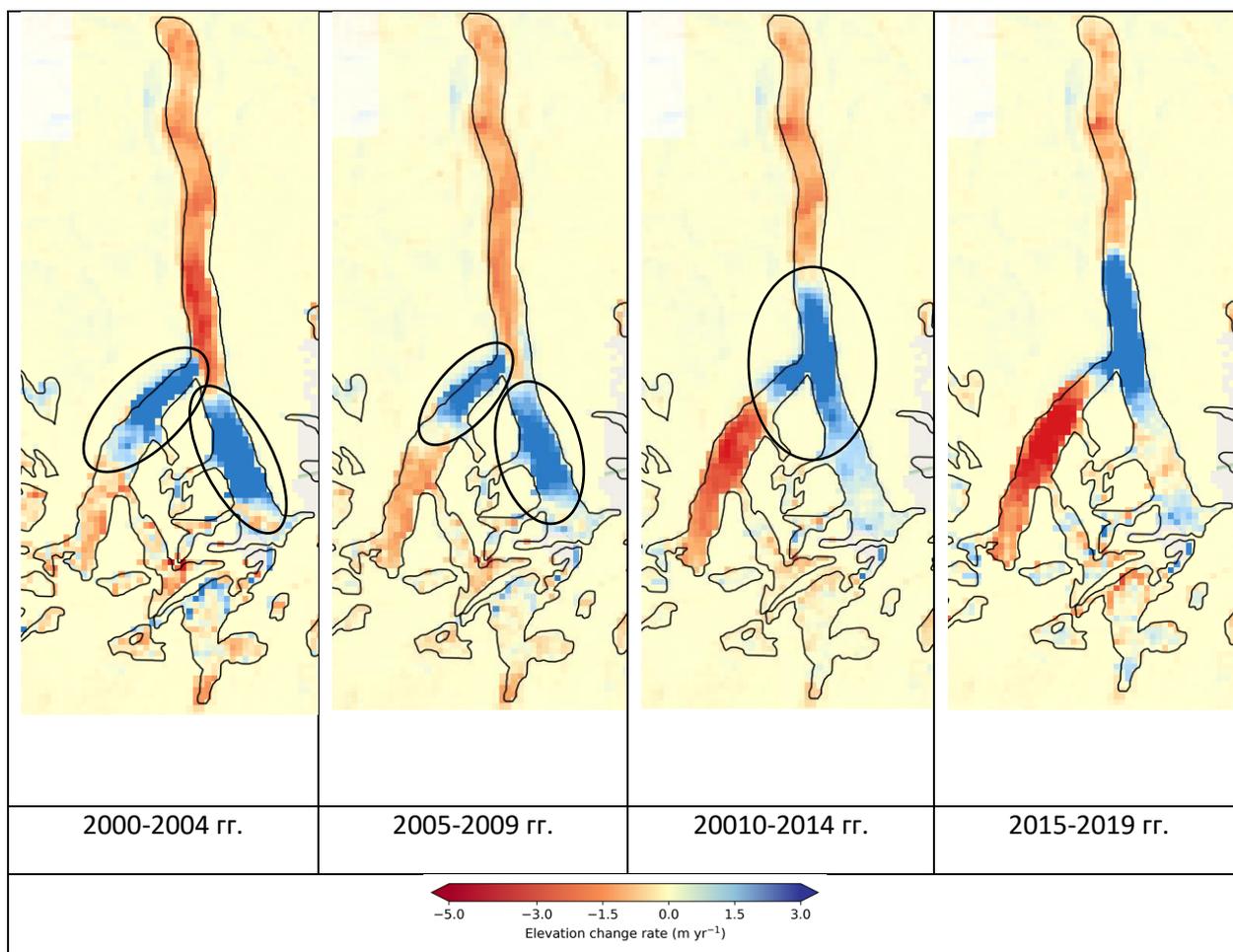


Рис.1. Пульсации ледника за период 2000- 2019 гг

Данная ситуация является крайне опасной, так как при полной пульсации ледника возможны непредсказуемые последствия, связанные со стихийными бедствиями. При пульсации ледника возможна деформация в плотинах ледниковых озер, которая в свою очередь может привести к полному прорыву данных озер.

Мониторинг показывает, что из верхних двух притоков ледника наблюдается прирост и ее спуск к языковой части, где к 2019 году они объединяются в главном стволе ледника и двигаются к языковой части.

6. Результаты использования датчика НОВО

Во время прошлой экспедиции в 2022 году на ледниковом озере №3 была установлен датчик уровня озера. Полученные данные с датчика показывают что данное озеро прорывалось 26 апреля 2023 года и снизилось с

12.1 psi до 11.4 psi далее с 14 до 31 мая 2023 года уровень озера постепенно снижался. Результаты показывают что использование автоматических датчиков позволяет мониторить состояние озер и использовать точные данные для принятия решений.

Данные датчика НОВО

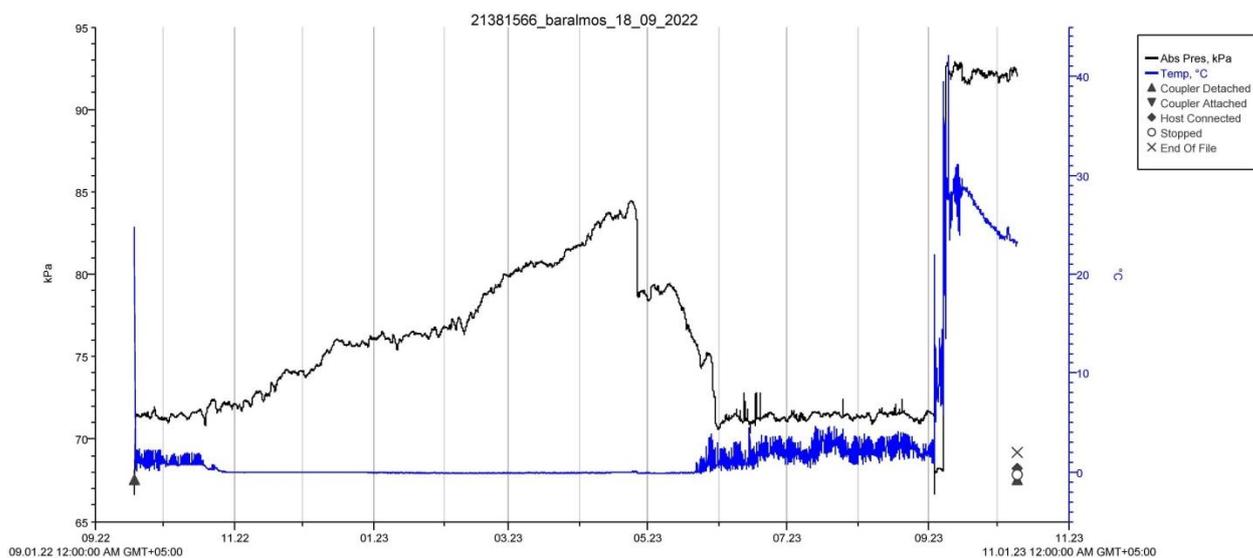


Рис. 2. График уровня озера. Полный цикл.

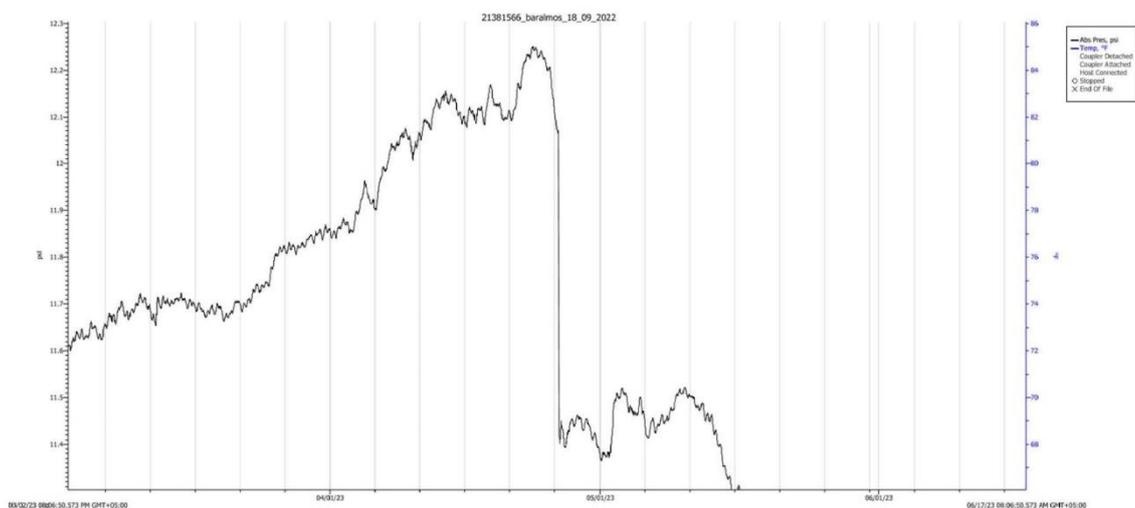


Рис. 3. График уровня озера, крупный масштаб. Первый прорыв. 01.04.2023 – 01.06.2023 гг.

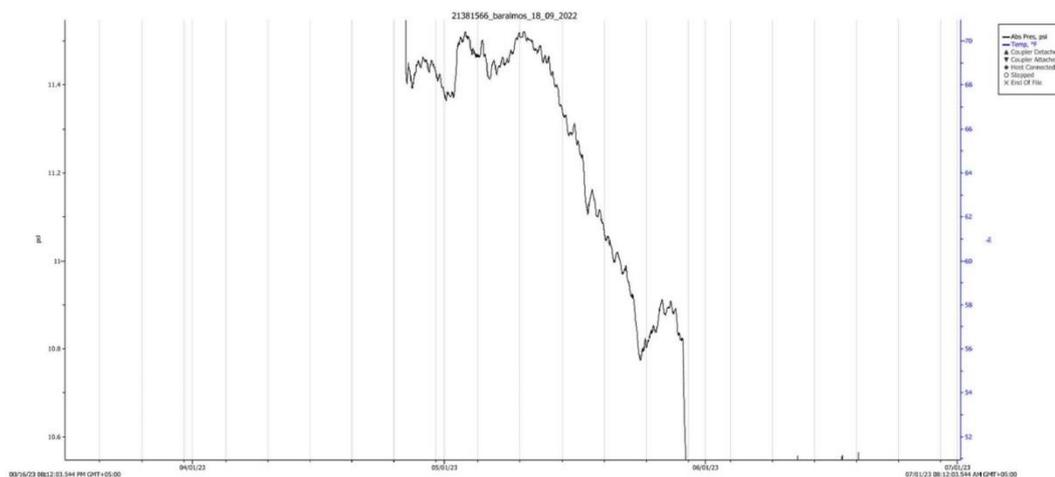


Рис. 4. График уровня озера, крупный масштаб. Постепенное снижение. 01.04.2023 – 01.06.2023 гг.

7. Моделирование вероятного прорыва озера №3 на поверхности ледника Баральмас с использованием программы RAMMS

RAMMS (RAPid Mass Movements Simulation) — это современная численная имитационная модель для расчета движения геофизических движений масс (снеговые лавины, сели, камнепады) от инициации до продвижения в трехмерной местности.

Физическая модель RAMMS: Debris Flow использует закон трения Вельми. Эта модель делит сопротивление трения на две части: трение с сухим кулоновским типом (коэффициент μ), которое масштабируется с нормальным напряжением и квадратичным сопротивлением или вязко-турбулентным трением (коэффициент ξ). Сопротивление трения S (Pa) тогда,

$$S = \mu \rho H g \cos(\varphi) + \rho g U^2 / \xi,$$

где ρ - плотность, g - гравитационное ускорение, φ - угол наклона, H - высота потока и U - скорость потока.

Входными параметрами для модели RAMMS являются общий объем селевого потока, который может быть задан как гидрографом, так и зоной отрыва, имеющей площадь и глубину; и параметры сопротивления.

Для проведения моделирования для трехмерной местности требуются следующие исходные данные:

Цифровая модель рельефа (ЦМР), ортофото высокого разрешения и данные о максимальных расходах воды и формах гидрографов.

Данные о глубине озера №3 пока отсутствуют и для моделирования использовались несколько вариантов и были выбраны более близкие к реальности симуляции. Для более достоверного результата необходимо провести батиметрические съемки с целью получения данных о глубине и объеме воды в озерах на поверхности ледника Барылмас.

Но, следует отметить, что озеро № 3 как все ледниковые озера ледника Барылмас являются неустойчивым и очень опасным. Проведение батиметрии сопровождается высокой степенью опасности. Сам ледник подвижный и пульсирующий. Огромные куски льда постоянно обрушиваются в озерах.



**Фото 9. Правый борт ледника
Фото 2022 года**



**Фото10. Правый борт ледника
Фото 2023 года**

Необходимо в рамках этого проекта приобрести Сонар или Гидрографический эхолот. Это снижает риск экспедиционных работ при проведении обследования ледниковых озер.



Фото 11. Ледниковое озеро имеет очень крутые отвесные склоны, что делает невозможным спуститься к озеру. Состояние озера №2.



Фото 12. Озеро № 3, который провели моделирование.

Результаты моделирования показали такую картину, которая сходится с реальным селевым потоком:

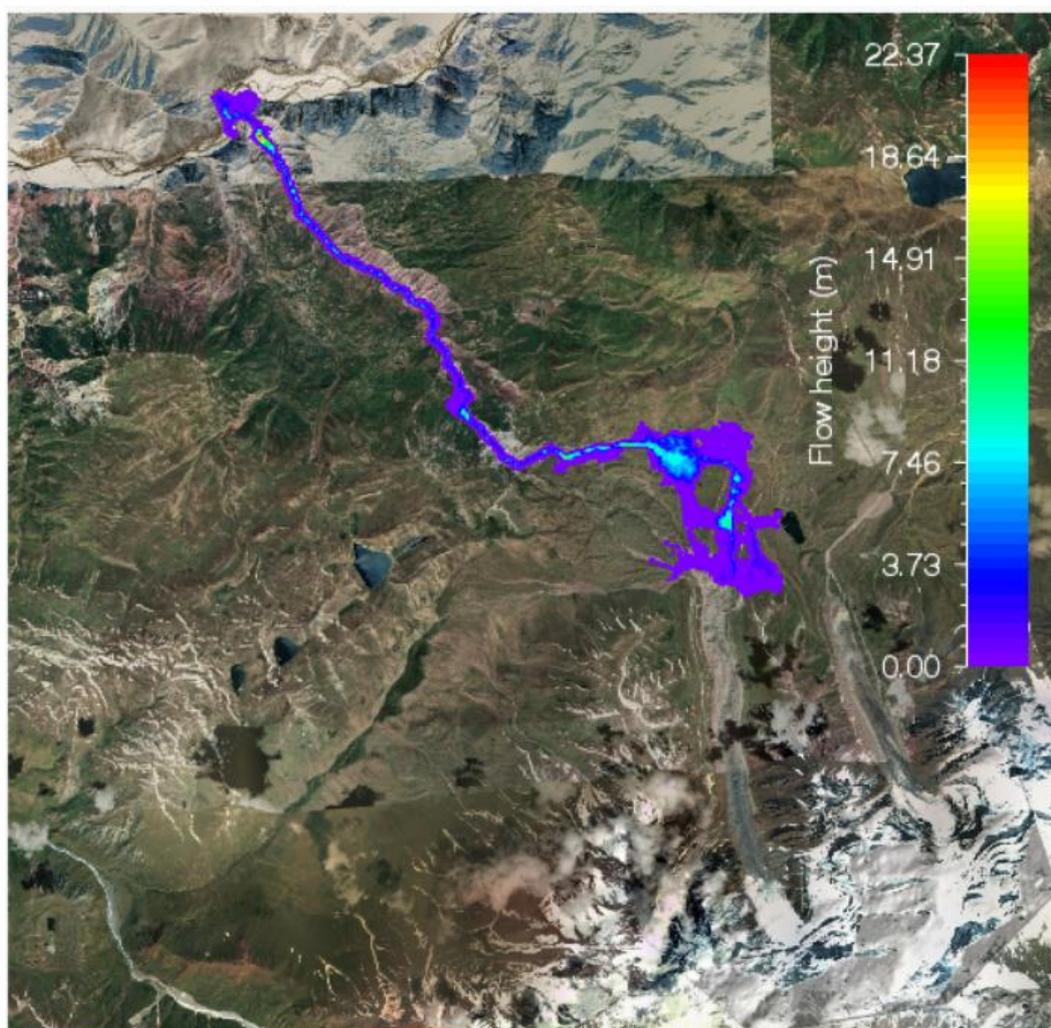


Фото 13. Результаты моделирования вероятного прорыва озера №3 и зоны поражения.

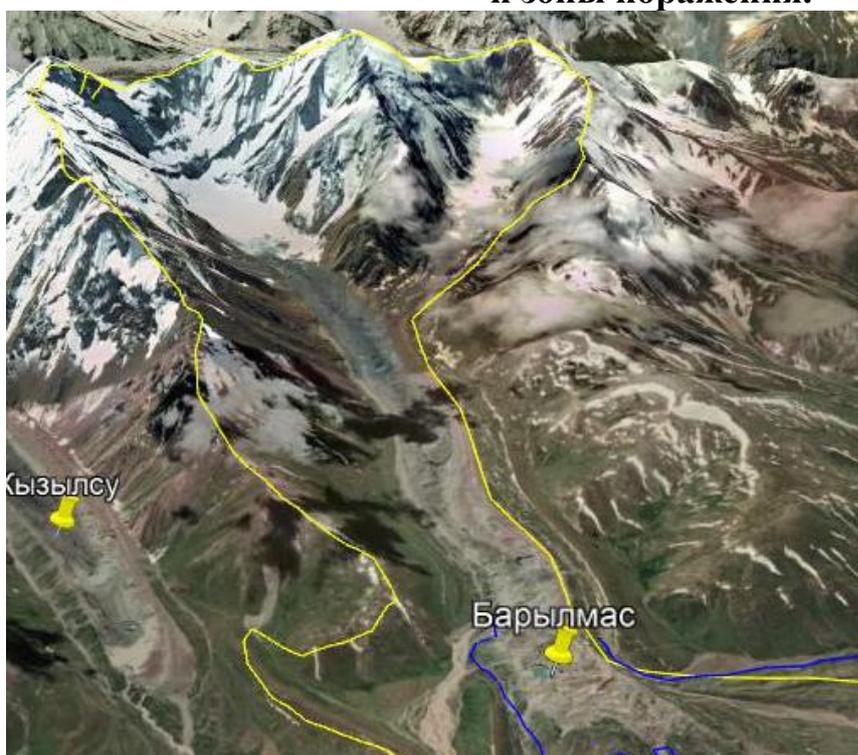


Фото 14. Бассейна ледника Барылмас где происходит прорыв ледниковых озер и формирование селевого потока.

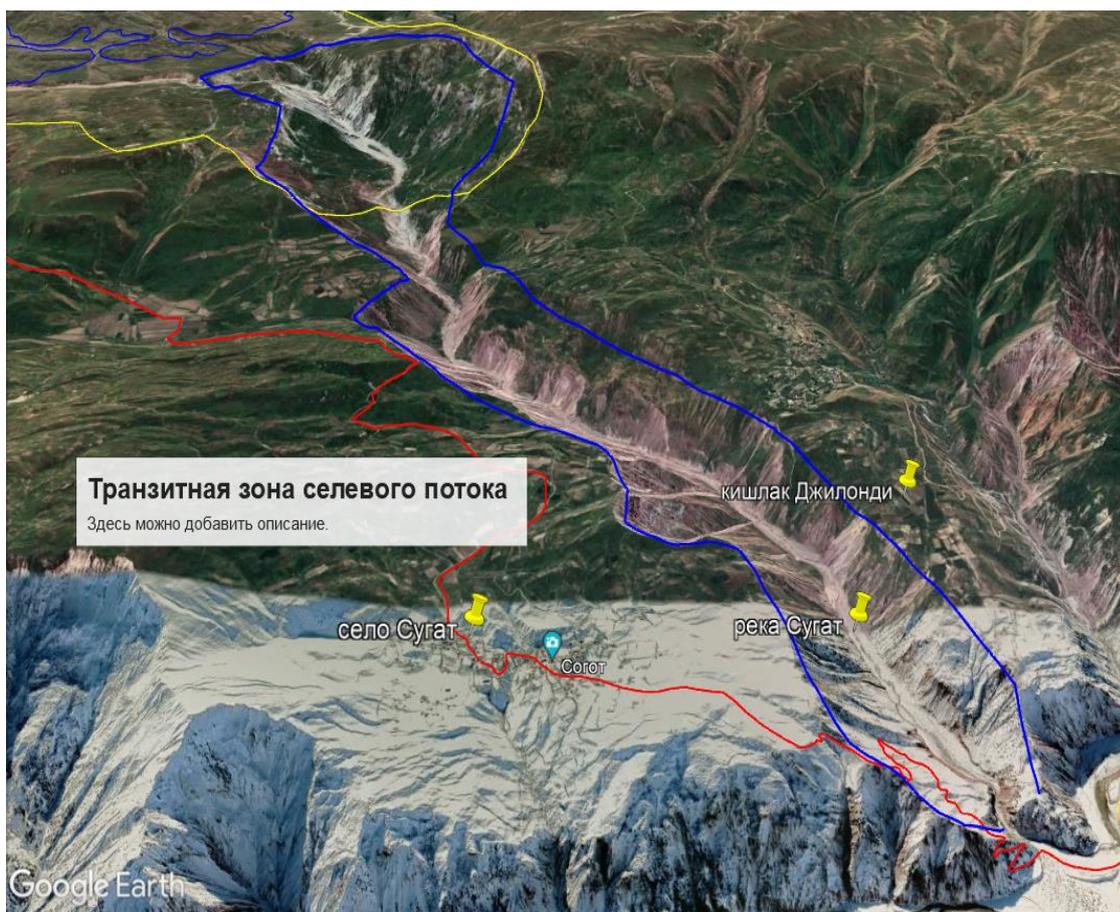


Рис 15. Транзитная зона гляциального селевого потока



Фото 16. Транзитная зона гляциального селевого потока, конечная часть



Фото 17. Зона поражения, закрытие русла реки Сурхоб после схождения селевого потока

В итоге моделирования были получены данные о высоте и скорости потока, а также максимальное давление потока в виде графиков, приведенных ниже.

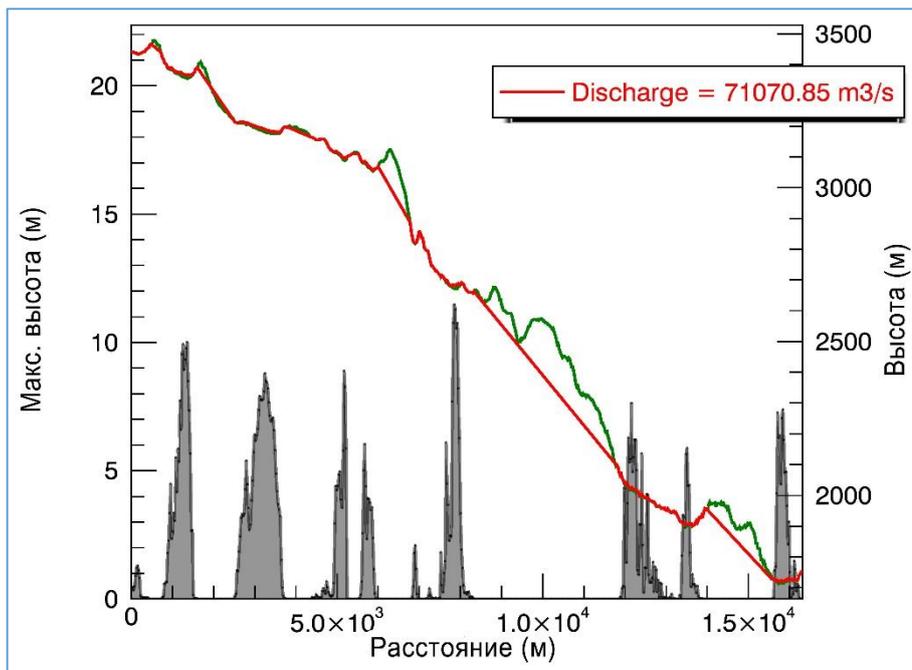


Рис. 5.1. Высота потока

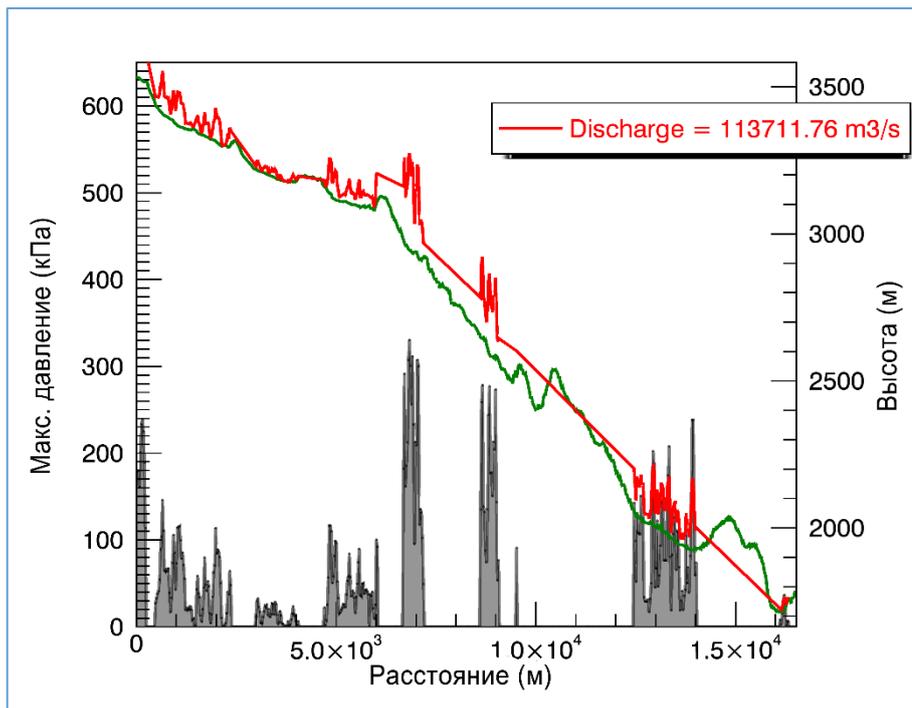


Рис. 5.2. Максимальное давление потока

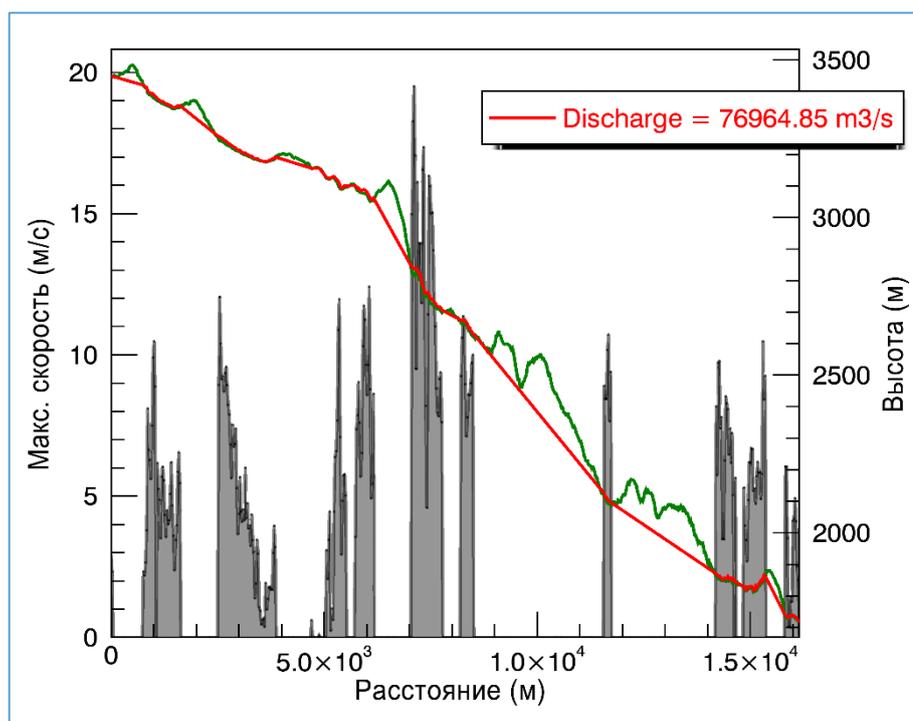


Рис. 5.3. Скорость потока

Высота потока в начальной зоне прорыва составляет 22 м который находится на высоте 3500 метров над уровнем моря (4.1). Общий объем потока составляет 71070,85 м³/с. Расстояние продольного профиля селевого лотка составляет 15 км ($1,5 \cdot 10^4$ м) и высота прорывного потока на всем пути от начальной зона формирования уменьшается и достигает конечной точки, расположенной на высоте 1770 метров.

Максимальное давление потока в начальной зоне составляет 600 кПа и также уменьшается в зависимости дальности от зоны формирования селевого потока. На высоте 2000 метров над уровнем моря давление потока составляет 100 кПа (4.2).

Одним из основных параметров селевого потока также считается его скорость, и данное программное обеспечение дает нам возможность определять скорость потока на всем ее протяжении. Максимальная скорость потока в зоне прорыва составляет 20 м/с. Далее по лотку скорость меняется в зависимости от перепадов высоты отображенной на графике 4.3.

Выводы

1. В последние годы участились сели и прорывы ледниковых озер в долине реки Сугат, которая является местом спуска селей, в результате они регулярно разрушают дорогу. В 2023 году было зафиксировано пять селевых потоков, что в свою очередь затрудняло восстановление дороги на этом участке.

2. В русле реки Сугат обнаруживаются множество крупных камней, достигающих сотен тонн по весу, а некоторые из них достигают и до тысячи тонн, что свидетельствует о прохождении большого объема селевого потока. В реальности мы наблюдали такой объем на выходе ущелья Арчакапа летом 2023 года, где селевой поток выносил камни высотой с двухэтажный дом.

3. Проведено моделирование, результаты которого подтверждают образование мощных и разрушительных селевых потоков в результате прорыва ледниковых озер. Максимальное давление потока в начальной зоне составляет 600 кПа и также уменьшается в зависимости дальности от зоны формирования селевого потока. На высоте 2000 метров над уровнем моря давление потока составляет 100 кПа.

4. Вероятность высоты потока в начальной зоне прорыва может составлять 22 м, которая находится на высоте 3500 метров над уровнем моря. Общий объем потока составляет 71070,85 м³/с. Максимальная скорость потока в зоне прорыва составляет 20 м/с. Далее по лотку скорость меняется в зависимости от перепадов отобразенной высоты.

5. В рамках этого проекта существует необходимость приобретения Сонара или Гидрографического эхолота. Это снижает риск работы участников экспедиции на ледниковых озерах, а также позволяет увеличивать степени достоверности полученных данных при моделировании.

6. Связи с усилением селевых потоков как по объему, так и по частоте увеличивается риск увеличения заиливания водохранилищ Рогунской и Нурекской ГЭС.

7. Необходимо организовать комплексную экспедицию с соответствующими министерствами и ведомствами для изучения данного региона и предотвращения заиливания водохранилищ Рогунской и Нурекской ГЭС.

Литература

1. Ишук Н. Саидов А. Опасные природные явления в Таджикистане Душанбе, Таджикистан. -Душанбе, 2018. -33с.

2. Каюмов А.К. Второе национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата.(Махмадалиев Б., Новиков В Каюмов А.) Душанбе, 2008. - 86с.

3. Каюмов А.К. Третье национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. (Каюмов А.К, Новиков В.В.) Душанбе, 2014. - 166 с.

4. Каюмов А.К. Изменение климата и водные ресурсы Таджикистана.(Каюмов А.К., Салимов Т.О.) - Душанбе: «Ирфон», 2013. - 80 с.

5. Каюмов А.К. Национальный план действий Республики Таджикистан по смягчению последствий изменения климата (Махмадалиев Б., Новиков В., Каюмов А, Каримов Х. Пермодо М.) - Душанбе, 2003. - 234 с.

6. Каюмов А.К. Первая комплексная международная научная экспедиция по изучению состояния ледников и экологической ситуации в верховьях рек Вахш и Пяндж. (Каюмов А.К.) Часть 1. Ледники и гидрология. - Душанбе: «Ирфон», 2013. - 150 с.

7. Каюмов А.К. Современное состояние ледника Федченко в условиях изменения климата // Криосфера.- 2021– № 1 (1). –С. 8-33. ISSN:2789-8326

8. Каюмов А.К., Шомахмадов А.М., Сафаров М.Т. Анализ погодных условий и их связь с возникновением стихийных бедствий в Таджикистане в 2021 году. // Криосфера - 2021– № 1 (1). -С.124-140

9. Mergili, M., & Schneider, J. F. (2011). Regional-scale analysis of lake outburst hazards in the southwestern Pamir, Tajikistan, based on remote sensing and GIS. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(5), 1447–1462. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1447-2011>
10. Pirmamadov, U. R., Bobov, R. A., Raimbekov, Y. K., Maroda, F. O., Savernyuk, E. A., Kidyayeva, V. M., Krylenko, I. V., Krylenko, I. N., Viskhadzhievaseinov, K. S., Zikillobekov, I. I., & Chernomorets, S. S. (2020). Risk and consequences of high-mountain lake outbursts in Tajikistan. In S. S. Chernomorets & K. S. Viskhadzhieva (Eds.), *Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th conference (Vol. 1, pp. 1–24)*.
11. Shugar, D. H., Burr, A., Haritashya, U. K., Kargel, J. S., Watson, C. S., Kennedy, M. C., Bevington, A. R., Betts, R. A., Harrison, S., & Stratman, K. (2020). Rapid worldwide growth of glacial lakes since 1990. *Nature Climate Change*, 10(10), 939–945. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0855-4>
12. Zhang, G., Yao, T., Xie, H., Wang, W., & Yang, W. (2015). An inventory of glacial lakes in the Third Pole region and their changes in response to global warming. *Global and Planetary Change*, 131, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.05.013>