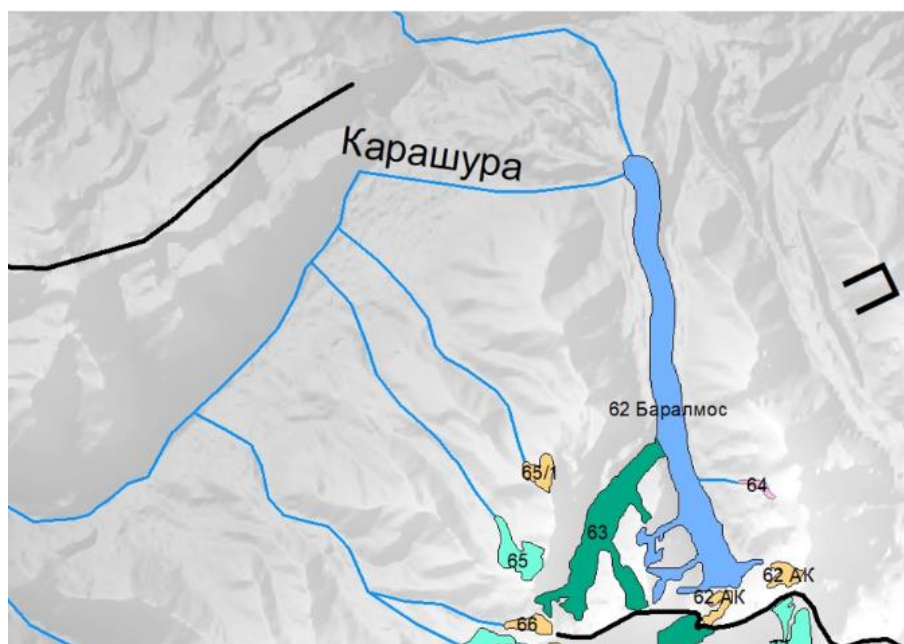




Проект GLOFCA в Таджикистане: моделирование возможных прорывов ледниковых озер и картирование опасностей

ОТЧЕТ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ НА ЛЕДНИКЕ БАРАЛМАС



Сентябрь - 2023 г.

ВВЕДЕНИЕ

В результате интенсивного таяния ледников на их поверхности увеличиваются площадь и число ледниковых озер, повышаются вероятность и интенсивность возникновения опасных природных явлений: селевые потоки, оползневые явления, обвалов, прорывов ледниковых озер и т.д. В результате рельеф речных долин в горных регионах может кардинальным образом измениться. Ледниковые озера относительно недолговечны и возникают вследствие динамики самого ледника (отступление, наступание, быстрые подвижки). Например, в Ляхшском районе (Таджикистан) в 2021 г. по долине р. Арчакапа от прорыва озеро на поверхности ледника Баралмас сошел разрушительный селевой поток, приводящей к разрушению автомобильной дороги ущерб, от которого суммарно составлял 20 миллионов сомони.

На поверхности ледника Баралмас по данным полевых работ 2022 года были зарегистрированы 7 прорывоопасных ледниковых озер, три из которых требуют постоянных наблюдений и организации мероприятий по снижению уровня риска возможного стихийного бедствия. Особенность данной работы – визуальная оценка состояния озера, анализ рыхлообломочного материала моренной части ледника, а также оценка существующей эрозии и шероховатостью поверхности в зоне транзита селевого потока с целью моделирования прорыва озера с оценкой возможного ущерба.



Рис. 1. Маршрут до ледника Баралмас

Ледник Баралмас

Ледник Баралмас - сложно - долинный, расположен на северном склоне хребта Петра Первого бассейна реки Сурхоб, координаты $-39^{\circ} 3'17.05'' N$ $71^{\circ}22'7.81'' E$.

В ходе экспедиционных работ был соблюден гендерный вопрос.



Рис. 2 Самостоятельное установление палатки нашими участницами экспедиции

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.

Ледниковая система Баралмас в Ляхшском районе Таджикистана демонстрировала повторяющиеся прорывы ледниковых озер в последние годы, в том числе в 2023 году за июль - август фиксировали 6 селевых потоков. Международная трасса полностью разрушена.

Таким образом, целью этой экспедиции является установка оборудования для долгосрочного мониторинга в системе крупных надледниковых озер на леднике Баралмас и вокруг неё.

Задачи:

1. Установка аппаратуры для регистрации уровня и температуры воды в озерах;
2. установка Таймлапс камеры, обеспечивающей полный обзор озер 2–5 для непрерывного наблюдения для последующей реконструкции;
3. установка регистраторов температуры грунта в озерной системе ледника Баралмос и вокруг неё;
4. оценка состояния зоны транзита и прилегающих участков;
5. оценка состояния участка реки Кызылсу (Сурхоб), где постоянно сливается селевой поток;
6. оценка состояния международного дорожного полотна на этом участке.

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.



Рис. 3. Ледник Баралмас с указанием расположения озер и других мест установки

Экспедиция внесет свой вклад в общую программу мониторинга криосферы на ледниках Кызылсу и Баралмас, установленную WSL и GRC в 2022 году. В ходе предыдущих экспедиций датчики уровня и температуры были установлены на самом большом из озер Баралмас. Теперь мы стремимся расширить этот мониторинг, чтобы установить общие инструменты для всех 5 крупнейших надледниковых озер на ледниках Баралмас. 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, и селевых потоков.

1. Уровень и температура воды в озерах

Датчик давления HOBO и регистратор температуры воды будут установлены в каждом из 5 крупных надледниковых озер (рис.4). Это обеспечит непрерывную запись уровня воды (откалиброванного по давлению) и температуры со сроком службы батареи до 5 лет с интервалом регистрации в 1 минуту. Регистратор U20-001-02 выбран за его надежность и способность выдерживать отрицательные температуры. Не позднее, чем через 12 месяцев (лето 2024 г.) будет загружена первая партия данных с регистраторов. Временные ряды данных об уровне воды и температуре будут проанализированы для изучения корреляций между отдельными озерами. Одна из гипотез состоит в том, что прорыву таких надледниковых озер может предшествовать повышение температуры воды. Новая аппаратура, установленная на этих озерах, позволит нам проверить эту гипотезу в случае прорыва.



Рис. 4. HOBO U20-001-02 Регистраторы уровня и температуры воды будут установлены в каждом из 5 основных озер ледника Баралмас

2. Таймлапс камеры

Предыдущие экспедиции WSL и GRC установили покадровую камеру с видом на самое нижнее озеро ледника Баралмас (озеро №3). В рамках новой экспедиции мы установим камеру высоко на линии хребта (орографически справа от ледника), обеспечивающую полный обзор озер 2–5. Эта камера обеспечит непрерывные наблюдения и позволит визуальнo реконструировать сезонные изменения характеристик озер (включая мутность) и выявить изменения в геометрии озера или образование нового озера. Для того чтобы

потенциально зафиксировать будущий процесс выброса, на выходе из озера №3 также будет установлена вторая камера. Здесь мы стремимся протестировать использование камеры дикой природы, которая использует обнаружение движения для автоматической активации в случае движения. Такая технология, если она окажется успешной, может стать основой недорогой системы раннего предупреждения.



Рис. 5. Пример наружной камеры обнаружения движения VisorTech.

3. Измерение температуры грунта

В рамках различных таджикско-швейцарских инициатив (например, CROMO-ADAPT, PAMIR, GLOFCA) предпринимаются серьезные усилия по наблюдению и моделированию условий вечной мерзлоты, а также оценке опасностей, связанных с потеплением вечной мерзлоты в Таджикистане.

Здесь мы дополним эти усилия установкой регистраторов температуры грунта в озерной системе ледника Баралмас и вокруг нее. Будет использоваться сочетание регистраторов Geoprecision и iButton. По пришествии 12 месяцев эти регистраторы обеспечивают запись изменений температуры поверхности земли (GST) для различных типов поверхности, уклонов и высот, которые можно использовать для проверки и калибровки моделей вечной мерзлоты. Мы сосредоточим наши измерения внутри обломков на участке деградации в передней части ледника Баралмас и на выходах коренных пород на различных высотах вдоль окружающего хребта (примерно от 3500 м над уровнем моря до 4200 м над уровнем моря). Сеть регистраторов GST дополнит аналогичные сети, например, в Фанских горах и

Сангворе, и сделает Кызылсу/Баралмас комплексным участком мониторинга криосферы (ледник, снег, озеро и вечная мерзлота).

4. Закупка оборудования

Полевые инструменты были закуплены Цюрихским университетом и были переданы Центру изучения ледников НАНТ.

5. Участники

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

6. 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

ПОЛЕВАЯ РАБОТА

Цель полевой работы в ходе экспедиции заключалась в установке оборудования на поверхности ледника Баралмас для проведения постоянного мониторинга и получения данных динамики горных озер, находящихся на поверхности данного ледника.

Всего на поверхности ледника были установлены следующие оборудования:

1. Камеры наблюдения: 2

2. Датчики уровень и температура воды: 4

3. Сенсоры температура поверхности земли: 5

Ниже приведены карты и таблица установленных оборудования на поверхности и вблизи ледника Баралмас.

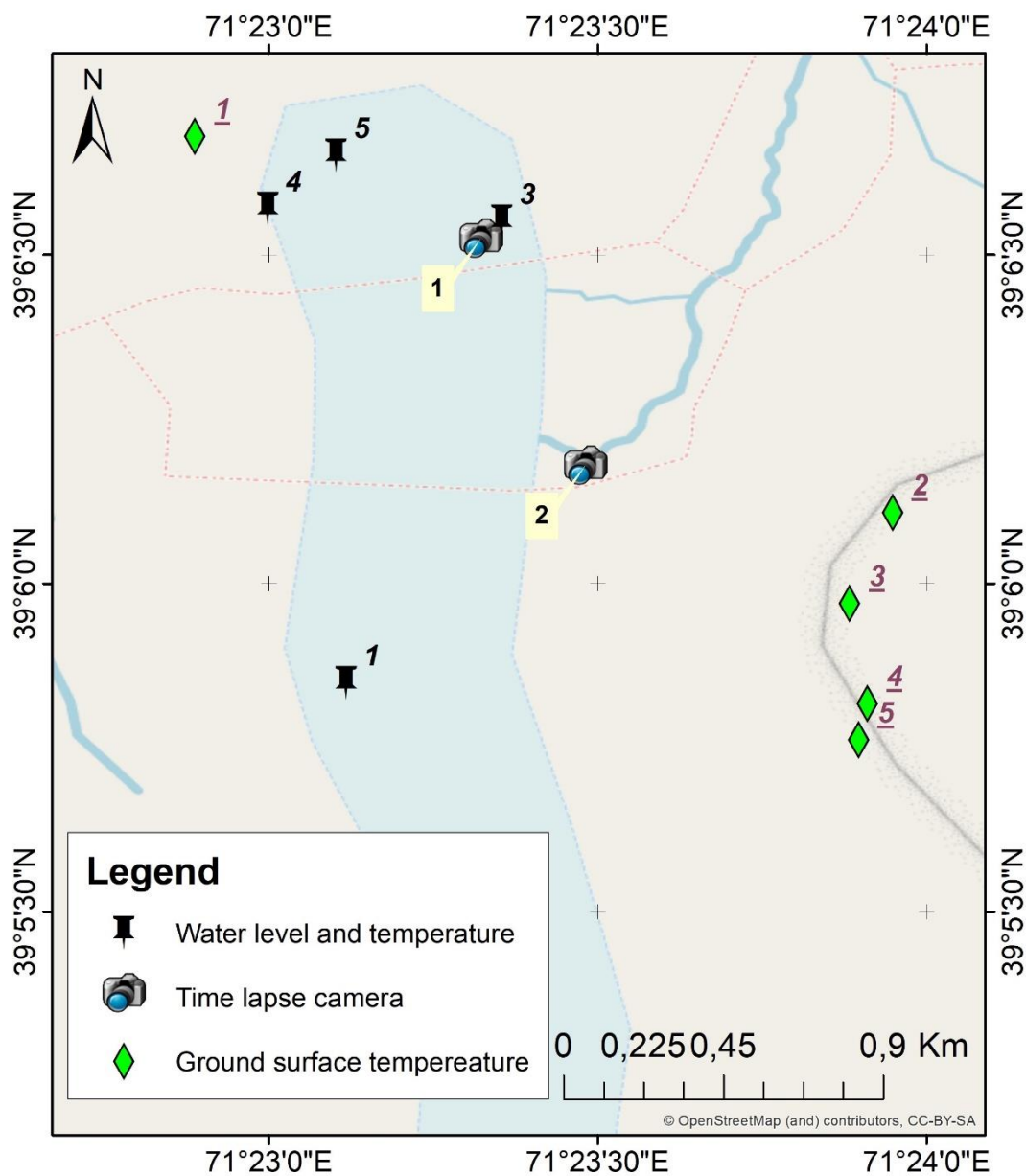


Рис.6, А. Подложка OpenStreetMap

Карта установленных датчиков на поверхности ледника Баралмас

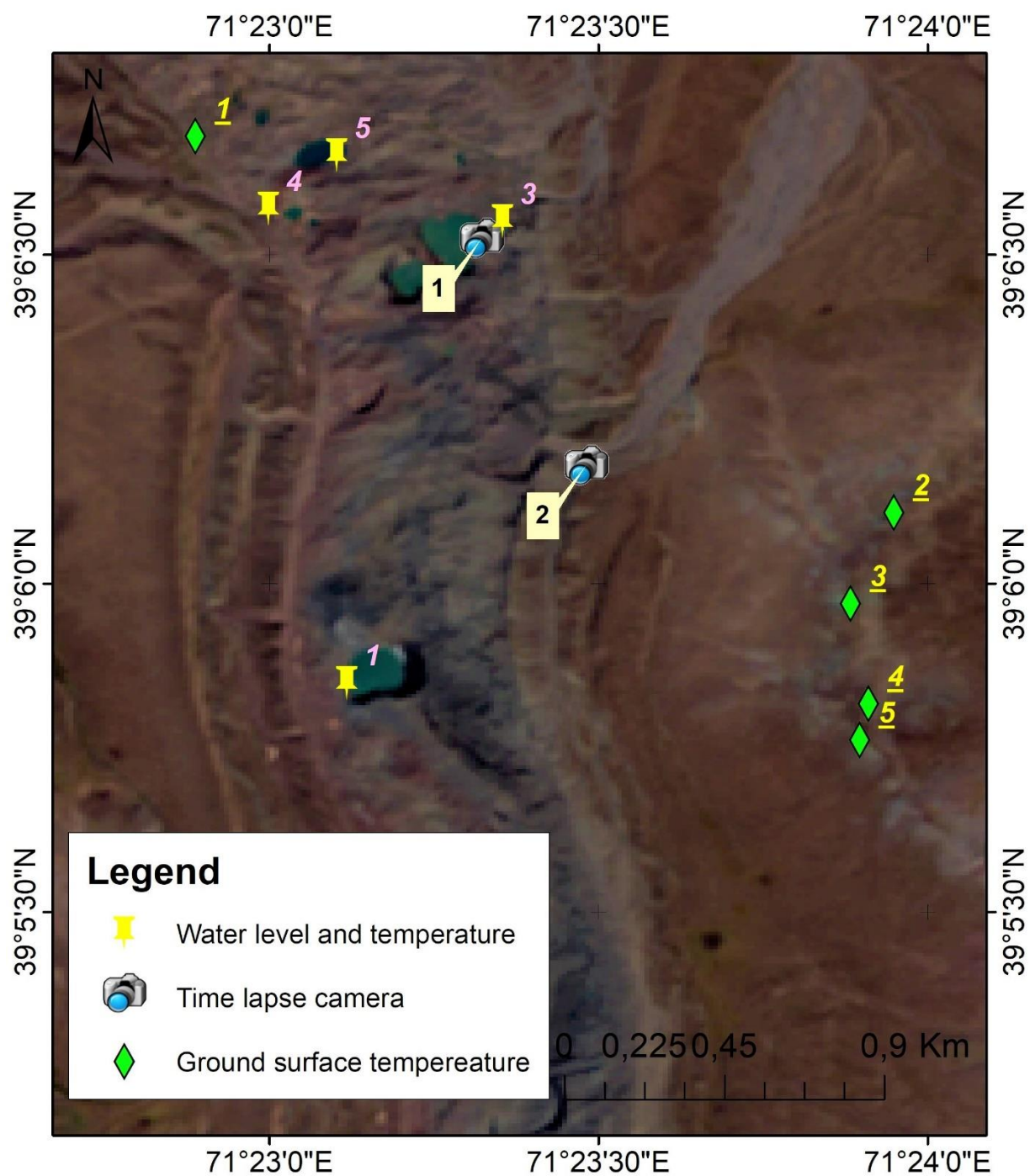


Рис 6 Б. Подложка снимка Sentinel 2A от 03.09.2023

*Рис. :6, А,Б. Карта установленных датчиков на поверхности ледника
Баралмас*

**Таблица 1. Список установленных оборудования на поверхности
ледника Баралмас**

№	Название	Серийный номер	Дата / время установки	Высота над ур. м.	Координаты
1.	Камера 1	Bara1	02.09.2023 11:14	3576	71°23'19,503"E 39°6'31,867"N
2.	Камера 2	PIE1060	02.09.2023 15:49	3530	71°23'31,304"E 39°6'10,692"N
3.	Сенсор температуры поверхности земли 1	2005-0078	03.09.2023 14:09	3508	71°22'53,312"E 39°6'40,502"N
4.	Сенсор температуры поверхности земли 2	2005-0090	04.09.2023 11:28	3687	71°23'56,735"E 39°6'5,634"N
5.	Сенсор температуры поверхности земли 3	2005-0094	04.09.2023 11:41	3720	71°23'52,726"E 39°5'57,822"N
6.	Сенсор температуры поверхности земли 4	2005-0088	04.09.2023 11:54	3760	71°23'54,679"E 39°5'49,085"N
7.	Сенсор температуры поверхности земли 5	2005-0087	04.09.2023 12:04	3760	71°24'1,361"E 39°5'46,001"N
8.	Датчики уровня и температуры воды (озеро 1)	21798146	02.09.2023 14:00	3626	71°23'6,983"E 39°5'50,421"N
9.	Датчики уровня и температуры воды (озеро 3)	21798148	02.09.2023 10:32	3576	71°23'19,503"E 39°6'31,867"N
10.	Датчики уровня и температуры воды (озеро 4)	21798147	03.09.2023 14:58	3542	71°22'59,932"E 39°6'34,242"N
11.	Датчики уровня и температуры воды (озеро 5)	21798148	03.09.2023 13:02	3557	71°23'6,202"E 39°6'39,093"N

Камеры

Камеры были установлены с позицией на выход потока из озера №3 (камера 1) и на правом борту ледника с видом на выходящий поток из ледника Баралмас (камера 2).

Рис. 7. Рабочий процесс



Рис. 8. Камера 1



Рис.9. Камера 2

Позиция установленных камер и сделанные фото с помощью них

Камеры были установлены на безопасных местах и были закреплены камнями.



Рис.10. Камера 1



Рис. 11. Камера 2

Позиция установленных камер и сделанные фото с помощью них.

Датчики уровня и температуры воды

Датчики уровня и температуры воды были установлены в 4 озерах. Для удачной установки датчиков были выбраны большие камни, где металлическим тросом были закреплены датчики, а также на тросе закреплены поплавки из пластиковых бутылок.



Рис.12. Озеро №1



Рис.13. Озеро №3



Рис.14. Озеро №4



Рис.15. Озеро №5

На озере №2 невозможно установить датчики, так как морена вокруг озера очень активная и не имеет больших камней и других неподвижных объектов вокруг себя для закрепления сенсоров.



Рис. 16. Состояние озера №2.

Глубина озера №4 в сезон по боковым отметкам достигает до 2-3 метров и питается от соседнего озера. В летнее время озера пополняются и соединяются между собой, как показано (красной линией) на панорамной фотографии внизу.



Рис. 17. Сообщающие озера

Рис. 18. Сенсоры температуры поверхности земли

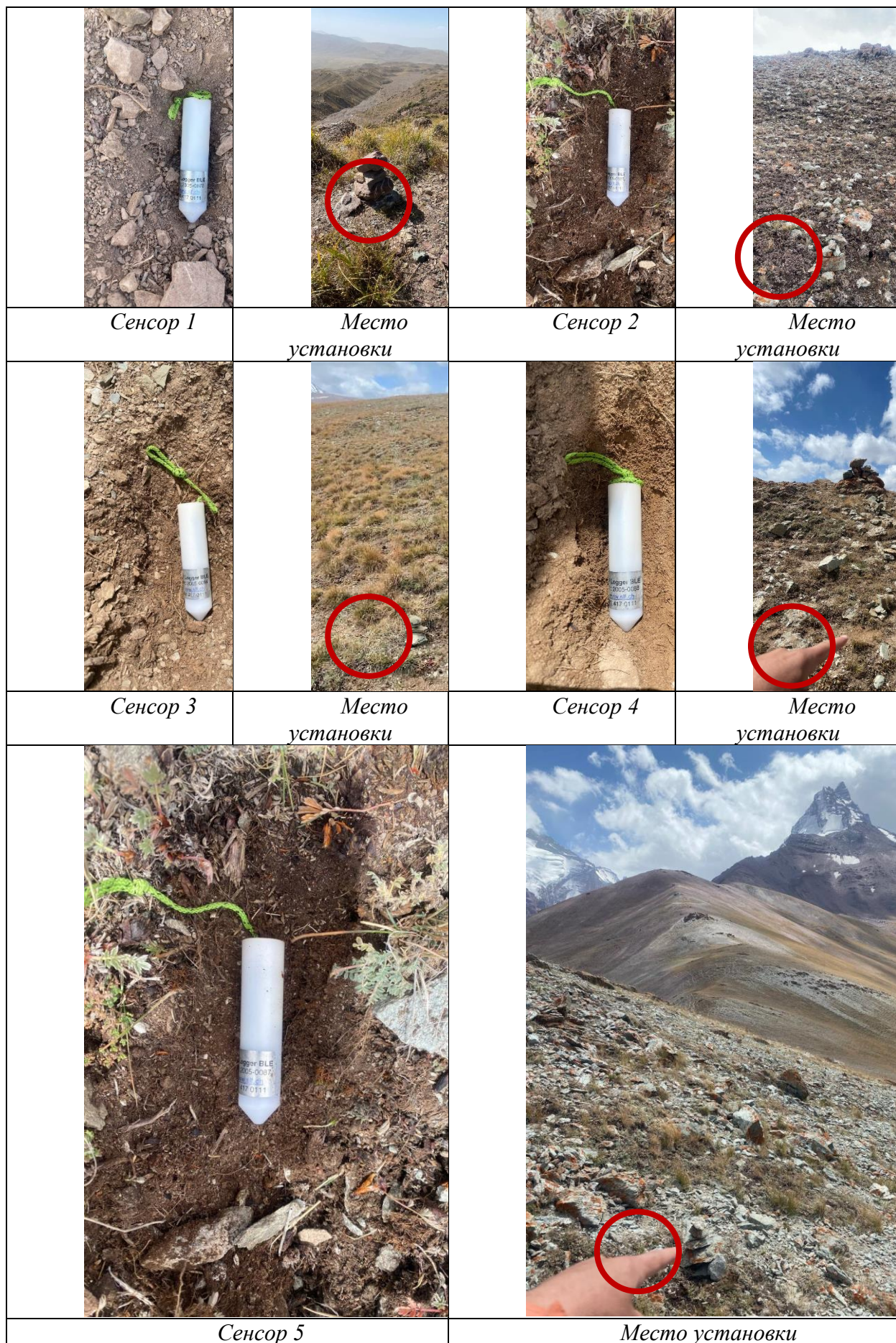


Рис. 18.

Отбор пробы для изотопного исследования ледников Баралмаса и Кызылсу

В рамках проекта МАГАТЭ в районе Ляхш ведется еженедельный сбор воды из реки Сурхоб, в дополнение к этому было решено при экспедиционной работе собрать образцы с озер ледника Баралмас и с реки до впадения ее в реку Сурхоб для сравнительного анализа проб. Также в рамках этого проекта ведется ежемесячный сбор осадков, собранных на высокогорном участке, который может помочь оценить изотопный состав и позволит провести сравнительный анализ. Для усиления изучения состояния ледника Баралмас проводили изотопное изучение этого ледника.

С помощью программы Google Earth был предварительный план отбора проб с двух ледников.

Таблица 2. Места отбора пробы для проведения изотопного анализа

№		Широта	Долгота	Высота м.	
Ледник Баралмас					
1.	Озеро 1	39° 5'52.97"C	71°23'8.54"B	3620	
2.	Озеро 3	39° 6'31.94"C	71°23'18.88"B	3570	
3.	Река Барылмас	39° 6'26.85"C	71°23'38.37"B	3490	
Ледник Кызылсу					
4.	Ледопад	39° 3'42.81"C	71°26'24.72"B	3990	
5.	Река, правый борт ледника	39° 4'28.91"C	71°25'45.79"B	3800	
6.	Река, правый борт ледника	39° 5'34.99"C	71°25'10.25"B	3600	
7.	Левый приток от языка	39° 6'41.67"C	71°24'34.78"B	3370	
8.	Главный приток от языка	39° 6'52.58"C	71°24'56.29"B	3350	
9.	Река, Кашар	39° 8'27.69"C	71°27'19.45"B	3115	
10.	Озеро, лагерь	39° 7'16.03"C	71°24'16.96"B	3370	

Запланированный отбор проб с Ледника Кызылсу и с речных оттоков были получены сполна.

С озер ледника Баралмос были определены 5 точек отбора, однако в реалии был доступ только к двум озерам, откуда были взяты пробы. В других озерах была многофакторная опасность.



Рис. 19. Взятие пробы с правого бокового стока ледника Баралмас



Рис. 20. Взятие пробы с ледника Баралмас

Было также решено взять несколько проб с озера, расположенного неподалеку от лагеря утром и вечером для выявления закономерностей испарения в первую и во вторую половину дня.

Изучение транзитной и конечной зоны, а также состояния окрестностей, где формируется и является дополнительным фактором формирования селового потока

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



Рис.21. Закрытие русла реки Сурхоб после схождения селевого потока



Рис. 22. Разрушенная международная дорога в Ляхшской зоне



Рис. 23. Остатки породы после ледникового селевого потока

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

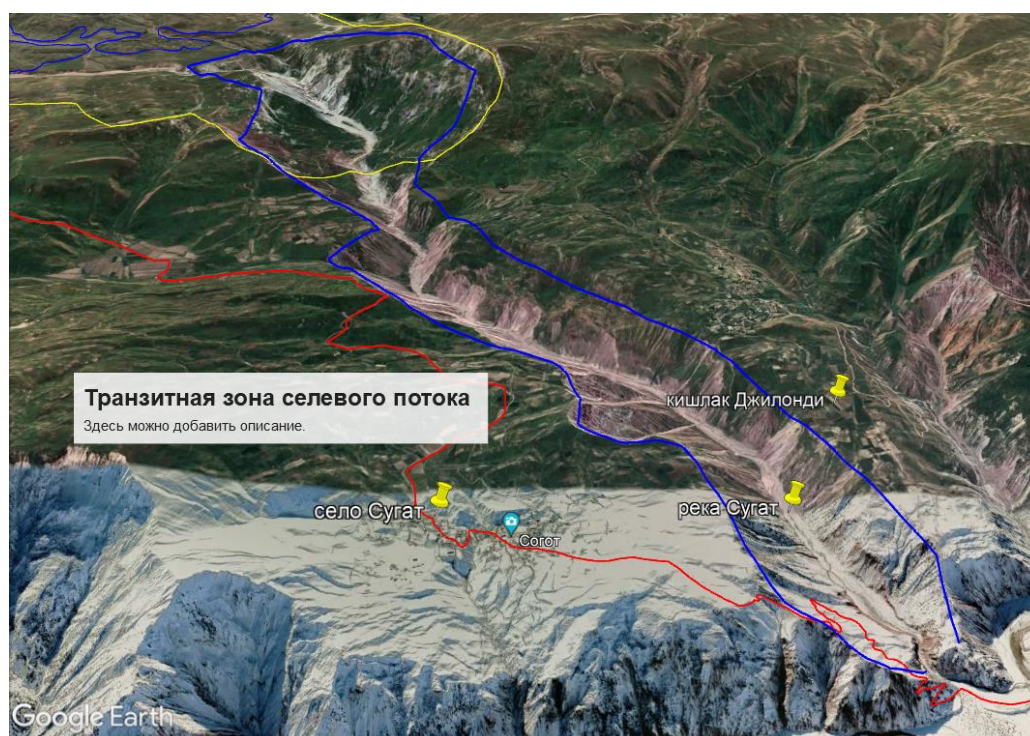


Рис.24. Транзитная зона гляциального селевого потока



Рис.25. Транзитная зона гляциального селевого потока, конечная часть

Стены ущелья в основном состоят из рыхлой породы, что является причиной неустойчивости и постоянных оползней. Высота перепад 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 доставки на рынок.

Совместно с представителем КЧС Ляхшского района провели обследование в окрестностях. На расстоянии 100 и 150 метров от края обрыва обнаружили множества трещины и признаки начинающих оползней большого объема. По словам представителя КЧС Ляхшского района за последние годы значительно увеличились ущелья. Он показал места, где были заросли и кустарники, которые полностью исчезли. Посередине ущелья сохранился незначительный островок.



Рис. 26. Разрушенная внутрихозяйственная дорога, далее обрыв



Рис. 27. Потенциальные участки, где могут образоваться оползни



Рис.28. Опасные места, где формируются оползни

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 больших размеров камней, что свидетельствует о большом и мощном селевом потоке по этому руслу реки при прорыве ледникового озера.



Рис. 29. Крупные камни в русле реки Сугат, остатки от селевого потока

Следует отметить, что потенциальные оползни и последующий смыв почвы могут составить несколько миллиардов тонн глины. А внизу по течению расположены Рогунский и Нурекский водохранилища и вероятно, все это может оседать в них и, следовательно, снизить полезный объем, что приведет к снижению выработка электроэнергии. По данным СМИ в 2023 году одной из основных причин лимита электроэнергии в Нурекском ГЭС связана с уменьшением объема воды, а не уменьшением стока.

Следовательно, проект ЮНЕСКО в итоге сможет ответить на этот вопрос на основе моделирования и получения данных приборов, которые установили на леднике в 2023 году.

ВЫВОДЫ

1. В последние годы участились сели и прорывы ледниковых озер в долине реки Сугат, которая является местом спуска селей, они регулярно разрушают дорогу. В 2023 году зафиксировали пять селевых потоков, что привело к затруднению восстановления дороги в этом участке.
2. Связи с усилением селевых потоков, как по объему, так и по частоте увеличивается риск увеличения заиливания Рогунской и Нурекской водохранилищ.
3. Установленные аппаратуры на леднике Баралмас позволят нам в 2024 году дополнить визуальную информацию, которую мы имеем по этому леднику.
4. На основе установленной аппаратуры сможем получить информацию о состоянии ледника, ледниковых озер, процессах прорыва ледниковых озер и формировании селевых потоков, что позволит более реально смоделировать эти процессы.
5. По левым и правым бортам транзитной зоны выявили множество участков, где имеются трещины и начинающие оползневые процессы, основание таких мест постоянно смывается речным стоком, что усиливает риск.
6. В русле реки Сугат обнаруживаются множества крупных камней, достигающие сотни тонн, а некоторые доходят до тысяч тонн, что свидетельствует о прохождении большого объема селевого потока. В реальности мы видели такой объем на выходе ущелья Арчакапы летом 2023 года, где селевой поток выводил камни с высотой двухэтажного дома.
7. Осадки, выпадающие на высоте 3500 и 4000 метров над уровнем моря, не фиксируются метеорологическим оборудованием Агентства по гидрометеорологии, поскольку их оборудование расположено на высоте до 2000 метров над уровнем моря, что является одной из причин отсутствия информации на этой высоте в этом регионе.

8. Необходимо организовать комплексную экспедицию с соответствующими министерствами и ведомствами для изучения данного региона и предотвращения заиливания Рогунского и Нурекского водохранилищ.

9. Научно-технический потенциал «Центра изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана», из года в год улучшается, как в метеорологическом, так и гидрологическом плане. В частности оснащением необходимыми оборудованием от проекта ЮНЕСКО и многочисленными научными достижениями, Центр может представить науку Республики Таджикистан на мировом уровне по вопросам изучения ледников и прорывопасных ледниковых озер, что свидетельствует выполнению поручений Основателя национального мира и единства – Лидера нации, Президента Республики Таджикистан, уважаемого Эмомали Рахмона.

10. Было проведено предварительное моделирование, что свидетельствует об образовании мощных и разрушительных селевых потоков вследствие прорыва ледниковых озер. Информация о данном моделировании дорабатывается и будет представлена в общем отчете о состоянии прорывопасных ледниковых озер республики.