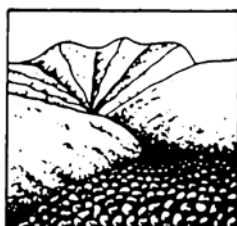


СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
8-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 6–10 октября 2025 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева

ООО «Геомаркетинг»
Москва
2025

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 8th International Conference

Tbilisi, Georgia, 6–10 October 2025



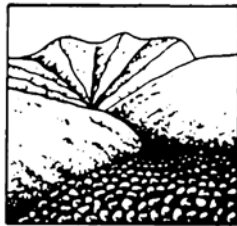
Edited by
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2025

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

მე-8 საერთაშორისო კონფერენციის
მასალები

თბილისი, საქართველო, 6-10 ოქტომბერი, 2025



რედაქტორები
ს. ს. ჩერნომორეც, გ. ვ. გავარდაშვილი, კ. ს. ვისხაჯიევა

შპს „გეომარკეტინგი“
მოსკოვი
2025

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 8-й Международной конференции (Тбилиси, Грузия). – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2025. 496 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC, 2025. 496 p.

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა. მე-8 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო. – პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი, კ.ს. ვისხაჯიევა. – მოსკოვი: შპს „გეომარკეტინგი“, 2025. 496 ს.

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), Г.В. Гавардашвили (Институт водного хозяйства имени Цотне Мирцхулава Грузинского технического университета), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (M.V. Lomonosov Moscow State University), G.V. Gavardashvili (Tsotne Mirtskhulava Institute of Water Management, Georgian Technical University), K.S. Viskhadzhieva (M.V. Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-5-6053539-4-2

© Селевая ассоциация
© Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава
Грузинского технического университета

© Debris Flow Association
© Ts. Mirtskhulava Water Management Institute
of Georgian Technical University

© ღვარცოფების ასოციაცია
© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა
მეურნეობის ინსტიტუტი



Мониторинг современного состояния оледенения, ледниковых озёр и связанных с ними опасных природных явлений (Памир, Таджикистан)

М.С. Сафаров^{1,2}, А.Р. Фазылов³, Ц. Ли¹

¹Синьцзянский институт экологии и географии Китайской академии наук,
Урумчи, Китай

²Научно-исследовательский Центр экологии и окружающей среды Центральной
Азии (Душанбе), Душанбе, Таджикистан, mustafo-2010@mail.ru

³Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии
наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан, alifazilov53@gmail.com

Аннотация. В современных условиях глобального изменения климата, высокогорные районы Таджикистана испытывают значительные трансформации, ведущие к возникновению опасных природных явлений – движение ледников, прорыв ледниковых озёр, лавины, оползни, наводнения, сели. Постоянный мониторинг, с использованием современных средств и методов, позволяет оценить их воздействие, разработать рекомендации по предотвращению и снижению риска возможных чрезвычайных ситуаций, применению современных систем раннего оповещения и предупреждения в высокогорных труднодоступных зонах. В данной статье представлены результаты анализа, оценки и обоснования применения современных подходов мониторинга криосферных опасностей на Памире, с акцентом на ключевые водосборы хребта Петра I, отличающиеся значительными изменениями в динамике ледников. В рамках реализованного исследования, для детальной оценки состояния ледников и связанных с ними опасностей, осуществлена интеграция данных, полученных с использованием спутниковых систем и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволившие установить значительное увеличение площади озёр и частоту их прорывов, а также другие опасные гляциальные процессы, свидетельствующие о влиянии климатических изменений, на устойчивость исследуемых ледниковых систем. Установлено, что скоротечное образование и расширение ледниковых озёр, сопровождающиеся обрушением льда на хребте Петра I, являются дополнительными факторами усугубляющие риск их прорыва. Каменно-ледяные лавины, возникающие в этом районе, также могут способствовать увеличению опасности для окружающей территории. Обоснована, целесообразность применения технологий дистанционного зондирования для детального мониторинга ледников и связанных с ними опасностей, в качестве приоритетного комплексного управления рисками стихийных бедствий в горных регионах Таджикистана, обеспечивающие эффективную оценку, прогнозирования и минимизации социально-экономических угроз для местных сообществ.

Ключевые слова: Таджикистан, криосферные опасности, ледниковые озёра, прорыв, мониторинг, дистанционное зондирование, беспилотные летательные аппараты, спутниковые данные

Ссылка для цитирования: Сафаров М.С., Фазылов А.Р., Ли Ц. Мониторинг современного состояния оледенения, ледниковых озёр и связанных с ними опасных природных явлений (Памир, Таджикистан). В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 8-й Международной конференции (Тбилиси, Грузия). – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2025, с. 378–387.



Monitoring the current state of glaciation, glacial lakes, and associated natural hazards in the Pamirs, Tajikistan

M.S. Safarov^{1,2}, A.R. Fazylov³, J. Li¹

¹*Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, China*

²*Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe), Dushanbe, Tajikistan, mustafo-2010@mail.ru*

³*Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan, alifazilov53@gmail.com*

Abstract. Under current global climate change conditions, the high-mountain regions of Tajikistan are undergoing significant transformations that contribute to the emergence of hazardous natural phenomena, including glacier surges, glacial lake outburst floods (GLOFs), avalanches, landslides, floods, and debris flows. Continuous monitoring using advanced technologies and methodologies enables the assessment of their impacts, the development of recommendations for disaster risk reduction, and the implementation of modern early warning systems in remote mountainous areas. This study presents the results of the analysis and evaluation of cryospheric hazards in Pamir, with a particular focus on the key watersheds of the Peter I Range, which have exhibited substantial changes in glacier dynamics. To assess glacier conditions and associated hazards in detail, an integrated approach using satellite remote sensing and unmanned aerial vehicles (UAVs) was applied. The findings indicate a marked increase in the surface area of glacial lakes and the frequency of their outburst events, along with other hazardous glacial processes that reflect the impact of climate change on the stability of glacial systems. Rapid formation and expansion of glacial lakes, often accompanied by ice collapses on the Peter I Ridge, have been identified as additional factors intensifying the risk of lake outbursts. Furthermore, rock-ice avalanches in the region pose an increased threat to surrounding areas. This study substantiates the effectiveness and necessity of remote sensing technologies for comprehensive glacier monitoring and hazard assessment. Such approaches should be prioritized in disaster risk management strategies for the mountainous regions of Tajikistan, facilitating accurate forecasting and mitigation of socio-economic threats to vulnerable local communities.

Key words: *Tajikistan, cryospheric hazards, glacial lakes, breakthrough, monitoring, remote sensing, unmanned aerial vehicles, satellite data*

Cite of this article: Safarov M.S., Fazylov A.R., Li J. Monitoring the current state of glaciation, glacial lakes, and associated natural hazards in the Pamirs, Tajikistan. In: Chernomorets S.S., Gavardashvili G.V., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). Moscow: Geomarketing LLC, 2025, p. 378–387.

Введение

В последнее годы в Таджикистане фиксируются сотни природных катастроф, наносящие значительный материальный ущерб и ведущие к многочисленным человеческим жертвам [Пятый национальный доклад 2014; Медеу и др., 2020]. Региональные и глобальные изменения климата оказывают значительное влияние на гидрологические процессы, требующие срочных действий для обеспечения устойчивости территорий и их адаптации [Фазылов, 2017; Сафаров и Фазылов, 2020; Аннамухаммедов и др. 2023]. В частности, динамика формирования селей варьируется от нескольких раз в год до одного раза в несколько десятилетий, зависящие в основном от гидрометеорологических условий [Казаков и др., 2013; Шварев и др., 2020]. В то же



время потепление климата также ускоряет таяние ледников и снега, являющиеся основными факторами увеличения криосферных опасностей, к которым отнесены сход лавин, каменно-ледяные лавины, прорыв ледниковых озер сопровождающиеся грязекаменными селевыми потоками, представляющие особую катастрофичность для населения Центральной Азии, в том числе и Таджикистана [Сафаров и Фазылов, 2022; Черноморец и др., 2018].

Горы Таджикистана, характерны присутствием многочисленных ледников, существенно влияющие на местную гидрологию и климат. Следует отметить, что ледники, в последние десятилетия, в условиях изменения климата, становятся все более уязвимыми и характеризуются ускоренным таянием, отступлением и образованием ледниковых озер [Mergili and Schneider; 2011]. Исследования и понимание динамики подобных изменений имеют важное значение для оценки возможных последствий не только для формирования водных ресурсов, но также и возникновения связанных с этими процессами опасностей, в том числе, прорывов ледниковых озер, представляющие значительные риски для сообществ, расположенных ниже по течению [Пирмамадов, 2012; Murodov et al., 2024; Safarov et al., 2024].

В формировании водных ресурсов Центральной Азии важную роль играет Памирский регион, являющийся основным источником водных ресурсов бассейна Амударьи. Основная часть стока Амударьи формируется на территории Таджикистана [Абдушукуров и др. 2013], особенно за счет водных ресурсов рек Вахш и Пяндж. Бассейн реки Вахш, расположенный в верховьях бассейна реки Амударья, характерен именно наличием вышеприведенных процессов и представляет собой уникальный объект для комплексного его изучения. Исследуемый регион характеризуется разнообразными геологическими особенностями, тектонической активностью и континентальным климатом со значительными колебаниями температуры и осадков, играющие решающую роль в формировании динамики ледников и гидрологических процессов. Следует констатировать, что река Вахш в качестве водного объекта, является составным элементом различных секторов местной экономики, в том числе способствующая развитию сельского хозяйства и производства электроэнергии.

Исследования повышения температуры, ведущие к изменению стабильности ледников и частоты связанных с ними опасностей, является актуальной задачей. Изучение вышеизложенных факторов должно сопровождаться применением современных методов, технологий и технических средств мониторинга.

На наш взгляд, одним из наиболее эффективных методов изучения, в частности ледниковых высокогорных озер, учитывая их труднодоступность, является использование технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Интеграция картографических методов и технологии ДЗЗ в рамках геоинформационных систем (ГИС) лежит в основе картографического мониторинга природных процессов в том числе ледниковых опасностей, которые являются необходимыми на региональном уровне [Ступин, 2020]. Использование БПЛА предоставляет возможность получения аэрофотоснимков высокой пространственной детализации, позволяющее проводить углубленный анализ природной среды с заданных высот. Очевидно, что преимуществом применения БПЛА по сравнению с традиционными наземными методами является возможность получения достоверных научных данных об изменении ледников и ледниковых озер и связанных с ними опасностей при минимальных затратах времени и физических ресурсов, а также с исключением риска для исследователей, в процессе полевых изысканий.

Материалы и методы исследований

На территории бассейна реки Вахш присутствуют ледники и образовавшиеся ледниковые озера, разных генетических типов являющиеся неперенным элементом нивально-гляциальной зоны горных хребтов Памира и Памиро-Алая. В большинстве своем они являются источником формирования селевых потоков, представляющих значительную угрозу для местных сообществ. В частности, такие явления характерны для зон вдоль



притоков реки Вахш, в том числе суббассейна Сурхоб (Хребет Петра 1) подвергающиеся особому их воздействию (рис. 1). Следует отметить, что крутые и расчлененный рельеф с уклонами от 7° до 22° являются благоприятными условиями для формирования селевых потоков, транспортирующие значительные объемы рыхлого обломочного материала, еще больше усугубляющие последствия риск таких стихийных бедствий.

Реализация целей и задач исследований позволила выявить два критических участка на территории хребта Петра Первого – Шураки Капали и Арчакала (от таджикского Арчакалъя) где были зарегистрированы повторяющиеся прорывы озер и образования значительных каменно-ледяных лавин. Водосбор Шураки Капали, также называемый Восточным Шураком, расположен на левом берегу реки Сурхоб. В верховьях долины несколько небольших безымянных ледников каталогизированы под номерами 504, 505 и 506, каждый из которых ориентирован соответственно на северо-запад, север и северо-восток. Далее вниз по течению лежит самый большой ледник в этой группе под номером 507 и ледник № 503, расположенный отдельно, справа. Примечательно, что ледник № 503 в своих нижних участках содержит несоединенное ледниковое озеро. Река Восточный Шурак сливается с рекой Сурхоб в западной части районного центра Таджикабад.

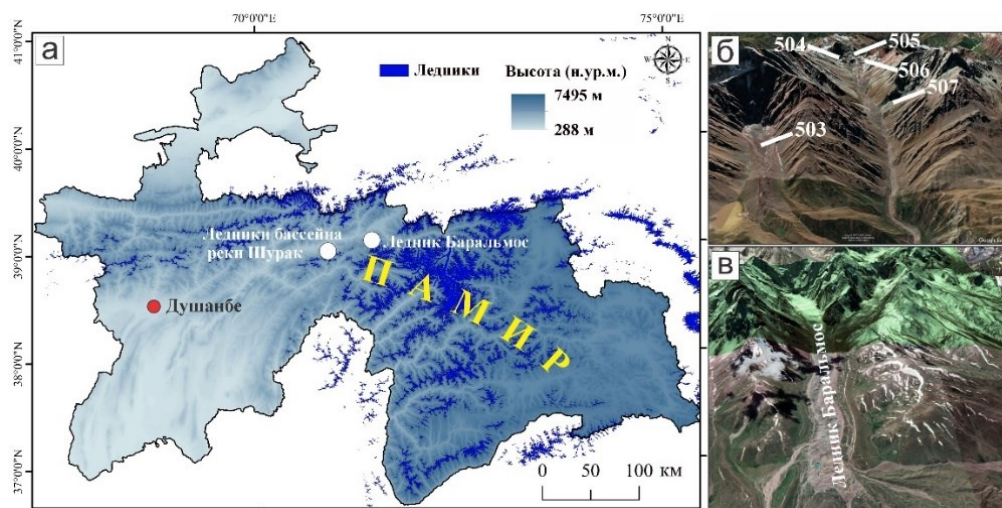


Рис. 1. Местоположение исследуемой территории: а) схема - карта Таджикистана; б) исследуемые ледники на снимках Google Earth

В процессе полевых исследований были использованы БПЛА самолетного типа QC-2 Микро и квадрокоптер DJI Phantom Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе). Реализация целей и задач работы с использованием современных методов и технологий мониторинга (аэрофотосъемка труднодоступных участков, создание высокоточных цифровых моделей рельефа и т.д.) зон с рисками стихийных бедствий, а также способы её обработки позволили получить оперативные, актуальные данные о состоянии исследуемых ледников и опасностей связанными с ними за короткое время.

Для оценки точности полученных индексов и сравнения с существующими наборами данных использовались методы валидации, обеспечивший надежный и всесторонний анализ селеопасных районов с использованием спутниковых снимков и снимков с БПЛА. При этом, для обеспечения корректности и точности анализа, снимки БПЛА были подвергнуты предварительной обработке, включая геометрическую коррекцию и перекрестную проверку с изображениями Google Earth [Safarov et al., 2025] (рис. 2).

С целью выявления и детализации зон, подверженных селям на территории исследуемых участков, использованы спутниковые снимки Google Earth, полученные до событий. Они сравнивались с аэрофотоснимками, сделанными с помощью БПЛА после событий.



Рис. 2. Рабочий процесс анализа ледниковых опасностей в Таджикистане

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты позволили установить, что в 2016 и 2017 г. в бассейне реки Шураки-Капали наблюдались каменно-ледяные лавины, спровоцировавшие возникновения селей, нанешие значительный ущерб местному населению и инфраструктуре (рис. 3–5). Выявлено также, что за последние годы из-за резкого изменения климата, в том числе из-за более жаркого лета и общего потепления, наметился процесс заметного увеличения скорости таяния ледников, способствующие значительному росту природных опасностей, связанных с ледниками. В частности, последствием вышеизложенного, были селепроявления в Шураки-Капали, нанешие серьезный ущерб общинам, проживающим ниже по течению. Катастрофический селевой поток был зафиксирован, в регионе, летом 2016 г., а также, в период с 21 по 23 июня 2019 г., сопровождавшиеся сходом каменно-ледяной лавины. Установленные риски стихийных бедствий подтверждают тезис о существенной динамке ледников и востребованности систематического мониторинга и разработки мер по управлению рисками стихийных бедствий.

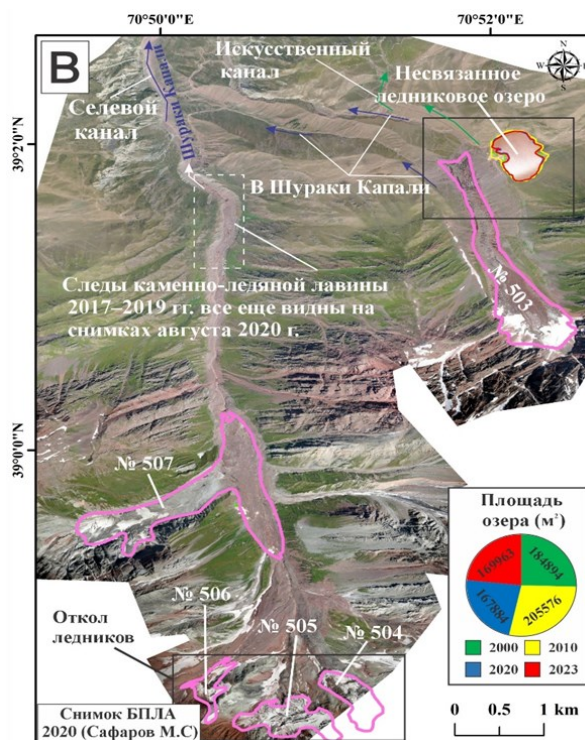


Рис. 3. Обзорная схема каменно-ледовых лавин, приводящих к опасностям на участке Шураки-Капали. Снимок с помощью БПЛА (2020 г., М.С. Сафаров)

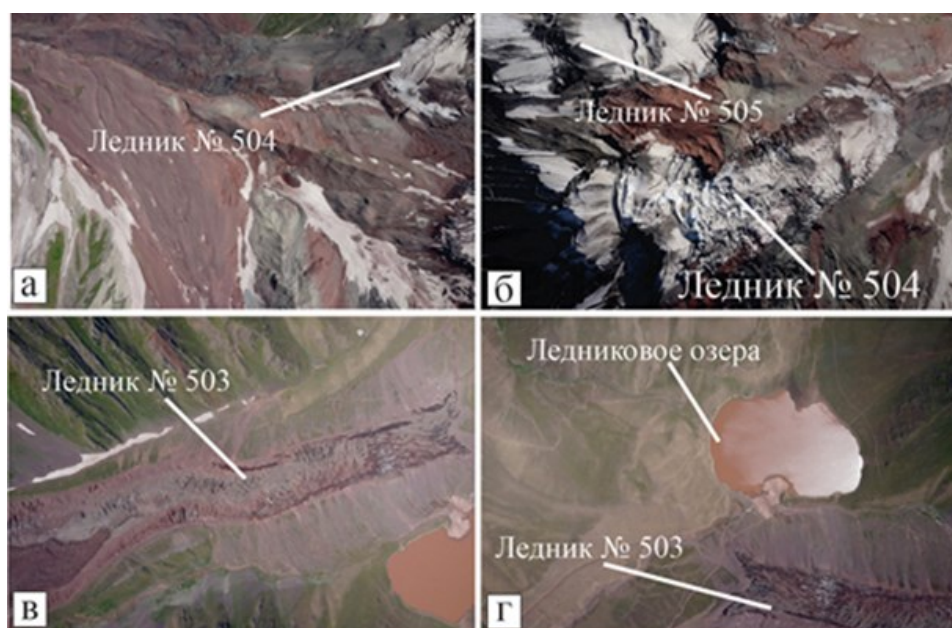


Рис. 4. Аэрофотосъемка ледников в верховьях реки Шурак с помощью БПЛА с высоты 5050 м над уровнем моря. Август 2020 (фото М.С. Сафарова)



Рис. 5. Каменно-ледяные лавины как фактор формирования селевых потоков на участке Шураки-Капали: а) спутниковое изображение Landsat (2015 г.) с указанием направления движения каменно-ледяных лавин; б–г) изменения в исследуемой области до (17.08.2015) и после (26.08.2016 и 20.09.2016) события по данным Landsat с использованием NDVI, отражающие образование временного озера и его прорыв, приведший к формированию селевого потока и конуса выноса на р. Сурхоб; г) разрушение дороги и моста в момент прохождения селя (кадр из видеоматериалов в интернете); д) селевые отложения в населённом пункте Шураки-Капали (фото Б.А. Сатторова, 31.08.2016).

Чрезвычайные события, характеризующиеся откалыванием массивных ледяных глыб от ледников и быстрым их спуском по долине, не являются уникальными только для этой области. Установлено, что последние 2 км до впадения в реку Сурхоб, река Восточный Шурак протекает среди полей сельскохозяйственной окраины районного центра Таджикабад. При этом ледово-каменный селя в верховьях долины привел к выбросу значительных объемов воды, оказавшие разрушительные воздействия на берега реки. Сравнение снимков до и после описываемых событий, показывает, что русло реки



Восточный Шурак в устьевой зоне расширилось более чем вдвое, сопровождавшееся смывом 20,5 га плодородных земель и несколько построек.

Наличие подтверждённых гляциологических рисков указывает на высокую динамичность ледниковых процессов [Саидов и др., 2019; Зарипов и др., 2020] и востребованность систематического мониторинга, а также разработки и внедрения эффективных мер по управлению природными рисками.

К концу лета 2020 г. язык, спускавшийся по речному каньону ниже ледника № 507, сильно деградировал, нижний край которого отступил на 1300 м от своего положения в июле 2017 г. Вместе с тем, в период с 21 по 23 июня 2019 г. на этой территории произошел еще один каменно-ледовый обвал, подтвердивший прогноз, сохраняющийся опасностей, связанные с изменением ледника в этом районе. На наш взгляд, в ближайшие 2–3 года — это единое тело распадется на отдельные части и скорее всего исчезнет.

На участке Арчакала (левый приток реки Сурхоб) расположен ледник Баральмос, представляющий собой значительную угрозу из-за нескольких надледниковых озер или так называемых прудов на его поверхности (рис. 6а), повышающие риск расширения и дальнейшего их катастрофического прорыва, которые могут стать источником внезапного выброса объема воды, вызывающие сели, серьезно угрожающие реке Арчакала – левому притоку реки Сурхоб, и как следствие наносящие ущерб инфраструктуре, а к полному или частичному перекрытию русла реки Сурхоб (рис. 6б).

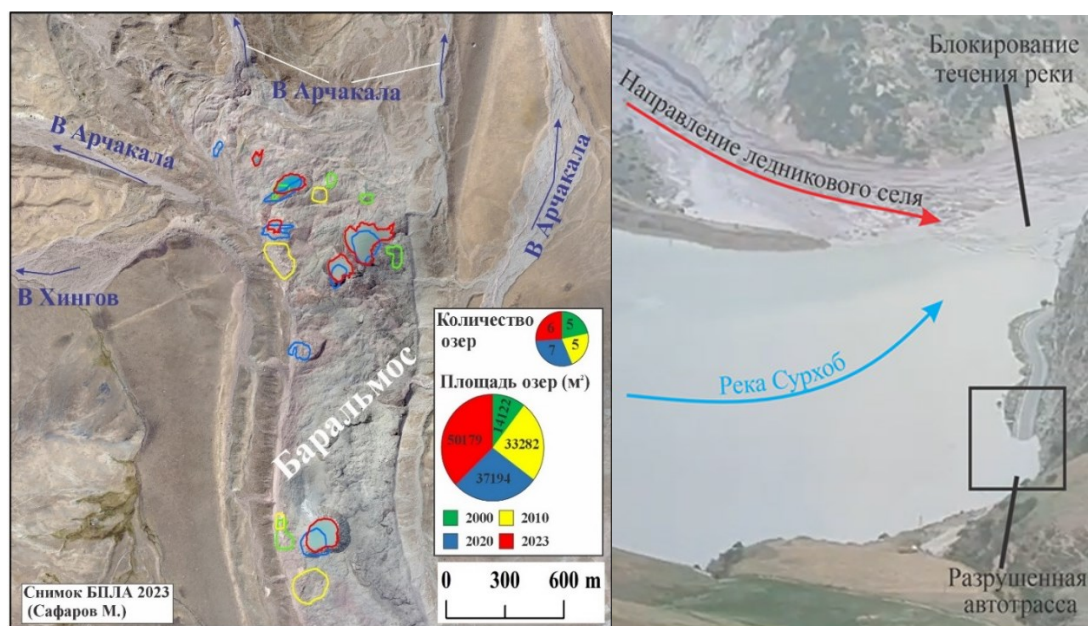


Рис. 6. Распределение и изменения озёр ледника Баральмос, приводящих к опасностям на участке Арчакала. Снимок с помощью БПЛА (2023 г., М.С. Сафаров)

Интенсивное таяние ледников, расширение площади и количества ледниковых озер, способствуют увеличению количества гляциальных селей. По результатам исследований ледника Баральмос (хребет Петра Первого) установлено, что с 2000 по 2023 г. площадь ледниковых озер втрое увеличилась, с 14 122 м² до 50 179 ± 21 м², что привело к прорыву надледниковых озер, вызвавшие селевые потоки на реке Сурхоб, с частичным перекрытием русла реки, значительным разрушением автодороги международного назначения, пешеходного моста и линии электропередачи в нижнем течении.

Результаты исследований позволили подтвердить факт влияния климатических изменений на ледниковые системы и прорывы озер, способствующие к увеличению частоты их прорыва. Следует также отметить, что скоротечное образование и расширение надледниковых озер может спровоцировать дополнительные прорывы. На



основе анализа изображений до и после катастрофических природных явлений выявлены значительные изменения в надледниковых озерах, а также в прибрежных участках реки Сурхоб. Установлено, что в период с 11 по 16 августа 2020 г. из-за значительного сброса воды из озер ледника Баральмос, площадь последней уменьшилась с 20 859 м² до 8946 м². Анализ снимков за периоды до и после селепроявлений позволил выявить значительные трансформацию ледниковых озер и русла реки Сурхоб, связанное с периодической активизацией селевых потоков (рис. 6, 7), способствовавшие также изменения морфологии русла реки и накоплению разнотипных отложений.

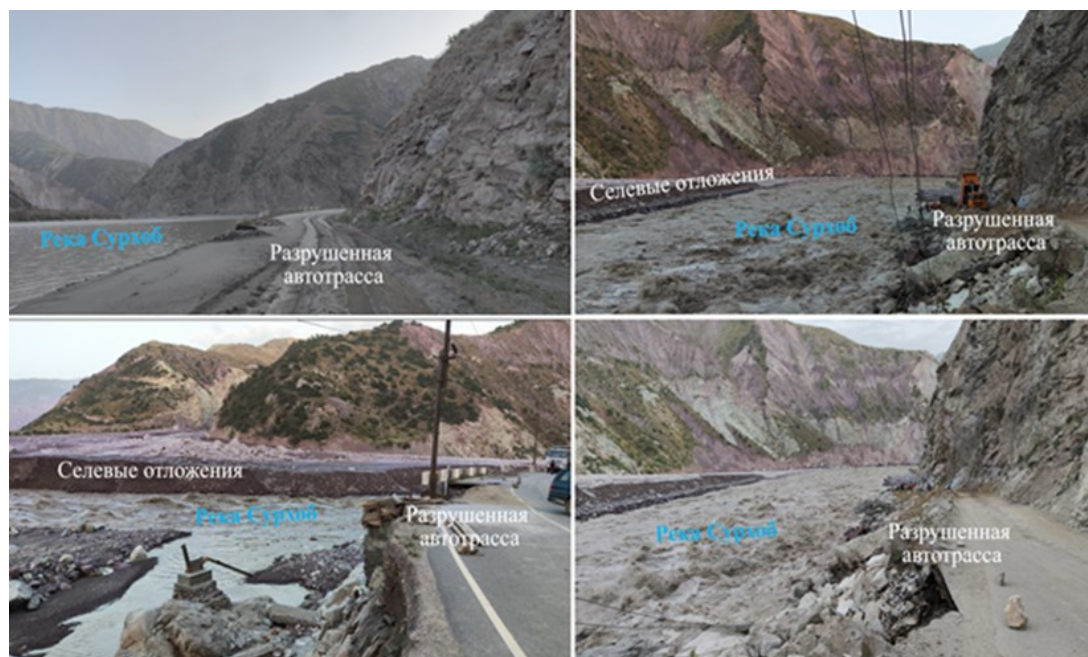


Рис. 7. Повреждение автодороги и частичное перекрытие русла реки Сурхоб вследствие очередного прорыва озёр на участке Арчакала. На фото зафиксированы последствия повышения уровня воды и отложений после селевого события, вызванного прорывом озера. Снимки М.С. Сафарова (июль 2023 г.)

В рамках настоящего исследования с использованием БПЛА были выявлены значительные потери льда, сопровождавшиеся обрушением льда на прибрежной стене, между крупными озерами, указывающие на продолжающиеся процессы дестабилизации, провоцирующие откалывание ледника и попадание их в озеро. Установлено, что исследуемый регион пережил несколько каменно-ледяных лавин и прорывов ледниковых озер сопровождавшиеся грязекаменным селевыми потоками, включая разрушение дорог, жилых домов, линии электропередач и блокирование русла реки ниже по течению.

Исследования позволили, выявить резкое увеличение региональных ледниковых озер и надледниковых прудов вместе с их потенциальным воздействием на местные сообщества, инфраструктуру и экосистемы в высокогорных регионах [Richardson, 2000; Zhang et al., 2015; Zhou et al., 2018]. Всестороннее изучение опасностей, позволить разработать систему управления земельными ресурсами и рисками стихийных бедствий, позволяющие уменьшить ущерб сельскохозяйственным угодьям и инфраструктуре [Safarov et al., 2024].

Следует отметить, что, расширение озер в горизонтальной проекции может привести к более быстрому таянию ледников и как следствие к усилению откола, которые в свою очередь приводят к дестабилизации поверхности ледника и увеличению объема воды, доступной для потенциальных прорывов озёр [Kirkbride et al., 1999; Otto et al., 2019]. Дополнительным фактором ускорения скорости таяния ледника, могут стать образование трещин, часто заполняемые накапливающейся водой [Röhl K, 2008].



Таким образом, для устранения потенциальных опасностей, связанных с образованием озер, необходимы скоординированные усилия, чего недостаточно, в особенности на Памире. Тем не менее, непрерывный мониторинг и локальные системы раннего оповещения в совокупности эффективны для минимизации потенциальных опасностей, связанных с пульсациями ледников и прорывами озер. Анализ комплекса сопутствующих природных угроз позволил установить, что значительный ущерб от каменно-ледяных лавин и прорывами озер характерен для участков Шураки Капали и Арчакала, отличающиеся близким расположением к населенным пунктам и важнейшим объектам инфраструктуры, в отличие от других ледников и озер, расположенные вдали от этих объектов и не представляющие сравнительно серьезной угрозы для них (рис. 8).

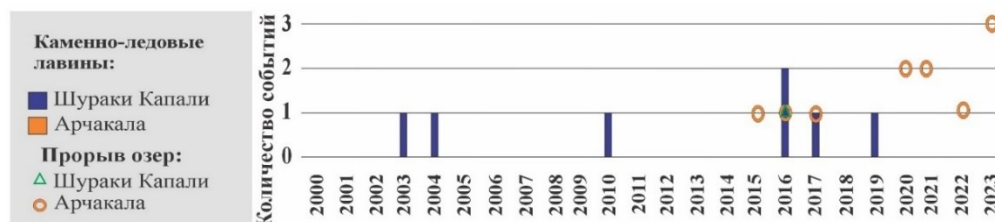


Рис. 8. Количество зарегистрированных каменно-ледовых лавин и прорывов озёр на участках Шураки-Капали и Арчакала в 2000–2023 гг.

Выводы

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют утверждать, что реализация в полевых условиях исследований с применением БПЛА технологий, а также спутниковых снимков, для получения актуальных данных о состоянии ледников и связанных с ними опасностей в горных регионах является актуальным и целесообразным подходом. Для выявления изменения на ледниках и их озерах, а также следов предыдущих стихийных бедствий и масштабов ущерба, были использованы аэрофотосъемка труднодоступных районов, созданы ортофотомозаики и осуществлен сравнительный анализ космических снимков.

Установлено, увеличение частоты прорывов озер, указывающая на влияние климатических изменений на ледниковые системы. Подтверждено, что быстрое образование и расширение ледниковых озер и каменно-ледяных лавин на хребте Петра I ведут к возникновению новых прорывов, приводящие к образованию селей и, как следствие увеличению неустойчивости как ледниковой среды, так и окружающего ландшафта. Полученные результаты станут основой разработки рекомендации по дальнейшему использованию технологий ДЗЗ для мониторинга современного состояния оледенения, ледниковых озёр и связанные с ними опасные природные явления, в том числе оценки гляциологических рисков и селевой опасности в горно-предгорных зонах Таджикистана.

Список литературы

- Абдушукуров, Д.А., Кобулиев З.В., Салибаева З.Н. Изучение состава и качества воды в притоках реки Амударья // Наука и новые технологии, 2013, 7: 47–51.
- Аннамухаммедов О., Овезов Г., Хоммадов М. Управление водными ресурсами в условиях изменения климата: вызовы и возможности адаптации. // Символ науки, 2023, (11-1-1): 17–19.
- Зарипов Р.Г., Имомназаров Ф.С., Тагойбеков А.С. Оценка селевых потоков бассейна реки Шураки Капали (левый приток реки Сурхоб, Таджикистан) и разработка мер по снижению риска // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе – Хорог, Таджикистан), т.1. Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 342–350.
- Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Казакова Е.Н., Морозов Г.Л. Селевые процессы в бассейне р. Мзымта (Красная Поляна) и их влияние на территорию строительства объектов Олимпийского комплекса // Геоэкология, 2013, 6: 516–529.



- Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Касаткин Н.Е., Капица В.П., Касенов М.К., Раймбекова Ж.Т. Гляциальные сели в Заилийском Алатау за последние 120 лет // *Лёд и Снег*, 2020, 60(2): 213–224. doi: 10.31857/S2076673420020035.
- Пирмамадов У. Селевые потоки, вызванные прорывом гляциальных высокогорных озер на территории Таджикистана // *Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Тр. Второй конференции, посвященной 100-летию С.М. Флейшмана*. 2012, с. 72–73.
- Пятый национальный доклад по сохранению биоразнообразия Республики Таджикистан / Правительство Республики Таджикистан. Душанбе, 2014. <https://www.cbd.int/doc/world/tj/tj-nr-05-ru.pdf>.
- Сафаров М.С., Фазылов А.Р. Применение современных технологий дистанционного зондирования для мониторинга селеопасных районов горных территорий // *ГеоРиск*, 2020, XIV(2): 32–41. doi: 10.25296/1997-8669-2020-14-2-32-41.
- Сафаров, М.С., Фазылов А.Р. Селевая активность в бассейне реки Арчакапа // *Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук*. 2022, 2(187): 125–135.
- Ступин В.П. Данные дистанционного зондирования для картографирования селевой опасности станového участка Бама // *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2020, 1(2): 28–40.
- Фазылов А.Р. Влияние изменения климата на гидроэкологическую безопасность // *Материалы Центрально-Азиатской международной научно-практической конференции «25 лет водному сотрудничеству государств Центральной Азии: опыт пройденного, задачи будущего»*. – Ташкент, 23–24 ноября 2017, с. 212–219. http://www.icwc-aral.uz/25years/pdf/25_icwc_conference_abstracts.pdf.
- Черноморец С.С., Савернюк Е.А., Бобов Р. и др. Селевые потоки в долине реки Барсемдара в июле 2015 г. и подпрудное озеро Барсемкуль на реке Гунт (Горно-Бадахшанская автономная область, Таджикистан) // *Междунар. науч. конф. Вторые Виноградовские чтения. Искусство гидрологии (Санкт-Петербург, 18–22 нояб. 2015 г.): сб. докл. СПб.: С.-Петерб. гос. ун-т, 2015, с. 261–264*.
- Шварев С.В., Харченко С.В., Голосов В.Н., Успенский М.И. Причины и последствия техногенной активизации селей в 2006–2019 гг. на водосборе притока руч. Сулимовский (район пос. Красная Поляна, Западный Кавказ) // *ГеоРиск*, 2020, XIV(2): 66–76. doi: 10.25296/1997-8669-2020-14-2-66-76.
- Kirkbride M.P., Warren C.R. Tasman Glacier, New Zealand: 20th-century thinning and predicted calving retreat // *Glob Planet Change*, 2020, 22(1–4): 11–28. doi: 10.1016/S0921-8181(99)00021-1.
- Mergili M., Schneider J.F. Regional-scale analysis of lake outburst hazards in the southwestern Pamir, Tajikistan, based on remote sensing and GIS // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2011, 11: 1447–1462. doi: 10.5194/tc-7-1565-2013.
- Murodov M., Li L., Safarov M., Lv M., Murodov A., Gulakhmadov A., Khusrav K., Qiu Y. A Comprehensive Examination of the Medvezhiy Glacier's Surges in West Pamir (1968–2023) // *Remote Sensing*, 2024, 16(10): 1730. doi: 10.3390/rs16101730
- Otto J.C. Proglacial lakes in high mountain environments // In: Heckmann T, Morche D, (eds) *Geomorphology of proglacial systems. Geography of the physical environment*. Springer, Cham, 2019, p. 231–247. doi: 10.1007/978-3-319-94184-4_14.
- Richardson S.D., Reynolds J.M. An overview of glacial hazards in the Himalayas // *Quat. Int.*, 2000, 65–66: 31–47. doi: 10.1016/S1040-6182(99)00035-X
- Röhl K. Characteristics and evolution of supraglacial ponds on debris-covered Tasman glacier, New Zealand. // *J. Glaciol.*, 2008, 54(188): 867–880. doi: 10.3189/002214308787779861
- Safarov M., Kang S.C., Fazylov A., Gulayozov M., Banerjee A., Navruzshoev H., Chen P., Xue Y., Murodov M. (2024) Estimating glacier dynamics and supraglacial lakes together with associated regional hazards using high-resolution datasets in Pamir // *Journal of Mountain Science*, 2024, 21(11): 3767–3788. doi: 10.1007/s11629-024-8936-x
- Safarov M., Kang S., Fazylov A., Gulayozov M., Navruzshoev H., Banerjee A., Mamadjanov Y. Mapping the territories of the mountain-foothill zone of Tajikistan exposed to debris flows // *Journal of Mountain Science*, 2025, 22: 16–30. doi: 10.1007/s11629-024-9020-2.
- Zhang G., Yao T., Xie H., Wang W., Yang W. An inventory of glacial lakes in the Third Pole region and their changes in response to global warming // *Global and Planetary Change*, 2015, 131: 148–157. doi: 10.1016/j.gloplacha.2015.05.013.
- Zhou Y., Li Z., Li J., Zhao R., Ding X. Glacier mass balance in the Qinghai–Tibet Plateau and its surroundings from the mid-1970s to 2000 based on Hexagon KH-9 and SRTM DEMs. // *Remote Sensing of Environment*, 2018, 210: 96–112. doi: 10.1016/j.rse.2018.03.020.