

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 7th International Conference

Chengdu, China, 23–27 September 2024



Edited by
S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2024

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
7-й Международной конференции

Чэнду, Китай, 23–27 сентября 2024 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева

ООО «Геомаркетинг»
Москва
2024

泥石流： 灾害、风险、预测、防治

會議記錄

第七届国际会议

中国成都, 2024年9月23日至27日



編輯者

S.S. Chernomorets, K. Hu, K. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC

莫斯科

2024

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). – Ed. by S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC. 622 p.

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2024. 622 с.

泥石流：灾害、风险、预测、防治。 會議記錄 第七届国际会议. 中国成都。 編輯者 S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – 莫斯科: Geomarketing LLC. 622 p.

ISBN 978-5-6050369-6-8

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), К. Ху (Институт горных опасностей и окружающей среды Китайской академии наук), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (Lomonosov Moscow State University), K. Hu (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS), K.S. Viskhadzhieva (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).

© Селевая ассоциация

© Debris Flow Association



Необычные селевые потоки на Кавказе в 2022–2023 годах

М.Ю. Беккиев, М.Д. Докукин, Р.Х. Калов, А.Р. Акаев

Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия, inrush@bk.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследования селепроявлений в верховьях долин рр. Малка и Черек-Безенгийский в 2022 г. (Кабардино-Балкарская республика, Россия) и в долине р. Бубисцкали (Грузия) в 2023 г. В работе использованы материалы аэрофотосъемок и разновременные космоснимки. Анализ материалов показал, что в условиях изменения климата в высокогорной зоне образуются селевые потоки на участках ледниково-моренных комплексов, где ранее они не фиксировались. Очагами формирования селей были длительно существующие слабонаклонные моренные массивы, содержащие лед: гряда береговой морены ледника Мижиргичиран с острым гребнем (бассейн р. Черек Безенгийский), языкообразный моренный массив с фронтальным уступом (верховья правого притока р. Малка). Селевые потоки формировались не в результате эрозионных или оползневых процессов, а стеканием разжиженных моренных масс в результате таяния внутреннего льда и проникновения по трещинам поверхностного стока талых вод с выше расположенного ледника. В долине р. Бубисцкали 03.08.2023 произошел редкий обвально-селевой процесс в результате падения и сползания скального блока на ледник со срезанием части ледника. Обвальными массами были заблокированы подледные каналы стока талых вод, и затем произошел прорыв накопившихся в леднике масс воды и ее сброс в виде паводка и селевого потока. Ниже по долине в поток добавился ливневый сток и материал склоновых селей и оползней. Такая же блокировка подледных каналов стока талых вод с дальнейшим прорывом наблюдалась в леднике Мижиргичиран. В этом случае они были закрыты плотными грязекаменными массами от селя с береговой морены. Наблюдающиеся сложные селевые процессы и селевые очаги необычных морфологических типов определяют необходимость постоянного мониторинга ледниково-моренных комплексов с целью оценки потенциальных селевых угроз в связи с продолжающейся деградацией ледников.

Ключевые слова: космоснимок, селевой поток, ледник, моренный массив, береговая морена, обвал

Ссылка для цитирования: Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Р.Х. Калов, А.Р. Акаев. Необычные селевые потоки на Кавказе в 2022–2023 годах. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2024, с. 50–59.

Extraordinary debris flows in the Caucasus in 2022–2023

M.Yu. Bekkiev, M.D. Dokukin, R.Kh. Kalov, A.R. Akaev

High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia, inrush@bk.ru

Abstract. The results of a study of debris flows in the upper reaches of the valleys of the Malka and Cherek-Bezengiysky rivers in 2022 (Kabardino-Balkarian Republic, Russia) and in the valley of the Bubistskali River (Georgia) in 2023 are presented. The work uses aerial photography materials and multi-time satellite images. The analysis of the materials showed that under the conditions of climate change in the high-altitude zone, debris flows form in areas of glacial-moraine complexes where they were not previously recorded. The original site of debris flow formation were long-existing slightly inclined moraine arrays containing ice: the ridge of the lateral moraine of the Mizhirgichiran glacier with a sharp ridge (the basin of the Cherek Bezengiysky River), a tongue-shaped moraine array with a frontal ledge (the upper reaches of the right tributary of the Malka River). Debris flows



were formed not as a result of erosion or landslide processes, but by the runoff of liquefied moraine masses as a result of melting of internal ice and penetration of surface runoff of meltwater from the glacier located above. In the Bubistskali River valley 03.08.2023 a rare rockslide – debris flow process occurred as a result of the fall and sliding of a rock block onto a glacier and cutting off part of the glacier. The landslide masses blocked the subglacial channels of meltwater runoff, and then there was an outburst of the accumulated masses of water in the glacier and its discharge in the form of a flood and a debris flow. Down the valley, rainwater runoff and the material of slope debris flows and landslides were added to the stream. The same blockage of the subglacial channels of meltwater runoff with a further outburst was observed in the Mizhirgichiran glacier. In this case, they were covered with dense mudstone masses from debris flows from the lateral moraine. The observed complex debris flow processes and debris flow original sites of unusual morphological types determine the need for constant monitoring of glacial-moraine complexes in order to assess potential debris flow threats due to the ongoing degradation of glaciers.

Key words: *satellite image, debris flow, glacier, moraine massif, lateral moraine, rockslide*

Cite this article: Bekkiev M.Yu., Dokukin M.D., Kalov R.Kh., Akaev A.R. Extraordinary debris flows in the Caucasus in 2022–2023. In: Chernomorets S.S., Hu K., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 50–59.

Введение

В условиях изменения климата в горах наблюдается ускорение темпов деградации ледников. Это в свою очередь приводит к вовлечению освободившихся ото льда территорий в селевые процессы и появлению новых селевых очагов, которые по своему потенциалу могут значительно превышать ранее изученные и зафиксированные в картах и кадастрах [Кадастр, 2015]. При этом изменяются сами селевые процессы и развиваются сложные процессы взаимодействия различных факторов и цепочки процессов с различными причинно-следственными связями, когда следствие одного процесса становится причиной другого [Assessment of Glacier, 2017; Беккиев, 2022]. Картина селевой деятельности и активности усложняется. Особенно это касается селевых процессов в массивах морен, содержащих погребенные и мертвые льды, которые достигают апогея после длительного периода подготовки. Ранее выявленные закономерности селевых процессов требуют уточнений и изменений, например традиционные типы селевых очагов, приведенные в литературе и руководящих документах [РД 52.30.238-90]. По результатам мониторинга селевых процессов появляются возможности обобщения и развития представления о масштабах селевой деятельности в конкретных районах и степени селевой опасности. В настоящей работе приведены примеры некоторых необычных селепроявлений, произошедших в последние годы на Кавказе, которые в дальнейшем предполагается учитывать при оценке потенциальных селевых угроз.

Материалы и методы

В работе были использованы космоснимки Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м, Landsat 4–5 с разрешением 30 м и Landsat 8–9 с разрешением 15 м с сайта <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/> с а также космоснимки сверхвысокого разрешения с сервиса Google Earth (19.09.2011 и 15.10.2019) на участки селевых очагов в верховьях р. Малка и р. Бубисцкали. Космоснимок спутника PlanetScope на участок ледника Буба (Тбилиси) 06.08.2023 получен с сайта <https://eos.org/thelandslideblog> [The 4



August, 2023]. Разновременные космоснимки совмещались в программе ArcMap по опорным точкам.

Для анализа селепроявлений в верховьях рек Малка и Мижирги были проведены аэрофотосъемки с применением квадрокоптера DJI Mavic Air 2 и построены ортофотопланы и цифровые модели местности в программе Agisoft Metashape Professional, в том числе до и после селя в долине р. Мижирги.

Результаты исследования и обсуждение

Особенности селевого потока 13.08.2022 на р. Мижирги (бассейн р. Черек Безенгийский)

На рис. 1 показана зона зарождения селевого потока у ледника Мижиргичиран.



Рис. 1. Зона зарождения селя в верховьях долины р. Мижирги. Фото с квадрокоптера 23.08.2022. 1 – селевой очаг на правой береговой морене ледника Мижиргичиран, 2 – селевой очаг у конца ледника Мижиргичиран

По свидетельству очевидцев селевой поток по р. Мижирги вышел к альплагерю «Безенги» в 21:30 13 августа 2022 г. Осадков в этот день зафиксировано не было. В результате сравнения материалов аэрофотосъемок 26.07.2022 и 28.08.2022 было выявлено, что формирование селя происходило в два этапа. На рис. 2 показаны фрагменты ортофотопланов двух селевых очагов.

Особенностью селевого очага № 1 (рис. 1, рис. 2а, б) является то, что подготовка формирования селя проходила длительный период. В работе [Беккиев, 2023] показано, что массив гряды береговой морены был деформирован в результате наступания ледника Мижирги в начале XXI в. и продолжения его активности в дальнейшем. В результате аэрофотосъемки 26.07.2022 выявлено, что в кармане береговой морены к тому времени уже была четкая зияющая трещина протяженностью 450 м и шириной до 1,5 м, по которой происходило сползание массива береговой морены, и в которую уходил водный поток, протекавший здесь ранее. Произошло водонасыщение массива морены и его сход в виде плотного грязекаменного потока. На месте гряды береговой морены, возвышающейся над тальвегом кармана на 3–4 м и над ледником на 8 м, образовался



врез длиной 230 м и шириной 35–40 м (рис. 2б). Высота правой стенки вреза составила около 16–20 м, а левой – 6–9 м. Средний уклон очага по дну вреза на расстоянии 200 м был небольшим – 6,7°. Тот факт, что ниже вреза поток углубился на 4 м в тело ледника, позволяет сделать вывод о том, что это был не оползневой процесс сдвига морены, а именно селевой поток со значительной долей водной составляющей. Объем обломочного материала, вынесенный из массива морены составил около 110 тыс. м³ [Акаев, 2023]. Следует отметить, что морфологически выраженный в виде гряды береговой морены селевой очаг ранее не мог оцениваться очагом, так как еще не было зафиксировано таких случаев.

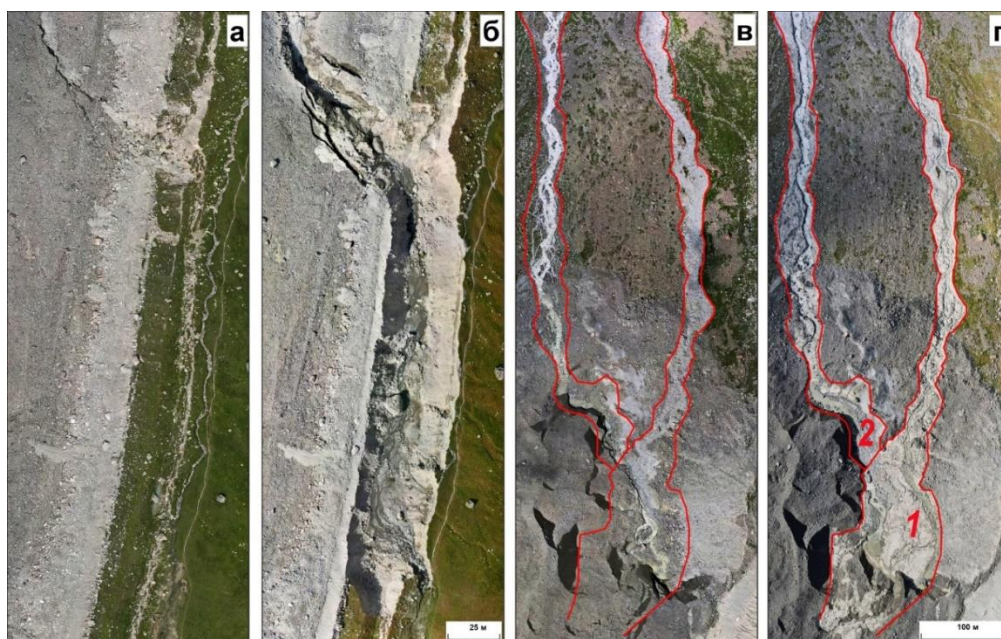


Рис. 2. Участок правой береговой морены ледника Мижиргичиран до и после селя на фрагментах ортофотопланов: а – 26.07.2022, б – 28.08.2022. Участок конца ледника Мижирги и формирования второй волны селя 13 августа: в – 26.07.2022, г – 28.08.2022. 1 – отложения селя с береговой морены, 2 – участок размыва русла и отложений селя в результате прорыва накоплений воды в подледных каналах стока ледника Мижирги

Далее селевой поток прошел по поверхности ледника 660 м и отложил часть материала толщиной до 8 м (№ 1 на рис. 2г) на участке выхода водного потока из-под ледника. В результате был заблокирован подледный канал стока талых вод с ледника, и через некоторое время водный поток прорвался на поверхность на участке слева от отложенной селевой массы (№ 2, рис. 2г). Если в первой фазе селевого потока массы, сошедшие с массива береговой морены, проходили по правому руслу р. Мижирги без врезания в него, а отлагая часть материала по всей ширине, то во второй фазе селевого потока водный поток, вырвавшийся из ледника, врезался в русло левого потока. За счет эрозионного процесса в левом русле на протяжении 1600 м общий объем вынесенного селем материала и отложенного на участке перед альплагерем «Безенги» с частичным заносом его территории, а также на слиянии с рекой Черек Безенгийский составил около 200 тыс. м³ [Мальнева, 2023б]. Следует отметить, что за время существования альплагеря селевой поток на его территорию не выходил.

Особенности селевого потока 04–05.10.2022 на р. Султангарасу (бассейн р. Малка)

Р. Султангарасу (другое название Кала-Кулак) является правым притоком р. Малка ниже слияния рек Бирджалысу и Кызылкол. Сель начался в ночь на 5 октября 2022 г. после ливней, продолжавшихся двое суток, зафиксированных на территории



минеральных источников на высоте 2350 м. Селем была перекрыта дорога и занесена часть территории с расположенными домиками. По данным метеостанции Чегет на высоте 3040 м 4 октября выпало более 60 мм осадков в виде ливневого снега (<http://www.pogodaiklimat.ru/>). Анализ имеющихся космоснимков на этот период времени показал, что в 10:50 4 октября часть территории соседнего бассейна р. Каракаясу была открыта от облаков и до высоты около 2900 м покрыта свежим снегом (космоснимок Landsat-8). До этого снег выпадал в сентябре – 25 сентября на массиве селевого очага лежал плотный снег (космоснимок Landsat-8). 6 октября после схода селя снежный покров был сплошным с четкой границей до высоты примерно 2970 м (космоснимок Sentinel-2). Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод о том, что на участке селевого очага перед сходом селя осадки выпадали в основном в твердом виде.

На рис. 3б, в показано состояние селевого очага 7 октября 2022 г. в момент проведения аэрофотосъемки. К этому времени снежный покров оставался в виде отдельных локальных фрагментов в складках местности.

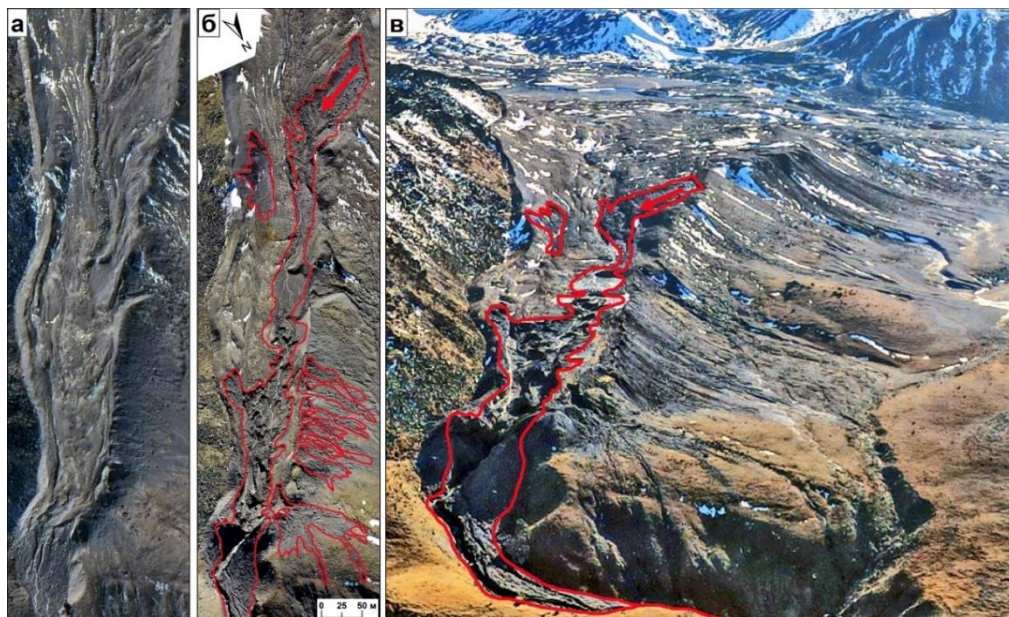


Рис. 3. Участок селевого очага в верховьях долины р. Султангарасу в бассейне р. Малка: а – космоснимок Pleiades-1A 15.10.2019 (Google Earth), б – ортофотоплан 07.10.2022 (красные контуры – зона селевой денудации моренных масс), в – фото моренного массива с квадрокоптера 07.10.2022 с контуром зоны селевой денудации (проявления микроселей не показаны). На фрагментах б и в стрелкой показано направление стекания разжиженных моренных масс

Очаг селя на р. Султангарасу морфологически выражен в виде языкообразного моренного массива, прислоненного справа к склону древнего лавового потока, а слева возвышающегося над дном долины на 40–50 м (рис. 3в), чем создается впечатление, что это террасовидная береговая морена древнего ледника, заполнявшего всю долину р. Султангарасу в XVII в., как показано на картах [Сейнова, Золотарев, 2001; Золотарев, 2009]. Отличительной особенностью этого моренного языка шириной между гребнями боковых валов в нижней части 70 м, а на участке, откуда стекала селевая масса – до 190 м, является медленное движение его поверхности [Мальнева, 2023а]. Движение масс моренного языка в осевой части происходило со средней скоростью 2,2–2,3 м/год в 1957–2011 гг., а в период 2011–2019 гг. произошло ускорение – в среднем до 6,8 м/год.

Моренные массы в виде селевого потока стекали по поверхности основной части массива без образования четких эрозионных форм (рытвин и врезов) – остались углубления неправильной формы. В верхней части зоны селеформирования (отмечено стрелкой на рис. 3б, в) угол наклона поверхности составлял 9,5°. Разжиженные моренные



массы сошли фронтом шириной 40–45 м. В нижней части моренного языка ширина зоны стекания моренных масс составляла 85 м, толщина слоя сошедшей вниз массы – в среднем 6 м (от 3–4 м до 8–10 м). На фронтальном уступе моренного языка образовался врез глубиной до 12–13 м и шириной – до 45 м. Общий объем селевой массы, вынесенной из моренного массива, приблизительно составил около 50 тыс. м³, что является максимальным значением, как отмечено в Кадастре селевой опасности [Кадастр, 2015].

Угол наклона поверхности моренного языка на участке отрыва и выноса моренных масс в нижней его части составлял всего 6–7°, что в условиях неровности подстилающей поверхности (см. рис. 3в) свидетельствует о том, что для перемещения такого количества моренных масс потребовалось накопление больших объемов воды для их разжижения и длительный период подготовки процесса. Поэтому селевой поток мог формироваться даже при околонулевых температурах воздуха в октябре.

Накоплению водных масс в теле моренного языка способствовало неравномерное движение и взаимодействие различных по форме участков моренных масс. Тот факт, что ускорение движения происходило в течение последних 10–15 лет, свидетельствует также о реакции погребенных льдов на потепление климата. В это время наблюдалось ускоренное таяние и сокращение ледников.

Одной из возможных причин усиленного таяния погребенного льда могло быть воздействие вулканических газов, выход которых в виде высокого столба был зафиксирован 8 июня 2020 г. туристами на участке на расстоянии 1 км к югу от зоны селеформирования [Мальнева, 2023а].

Особенности селевого потока 03.08.2023 на р. Бубисцкали (бассейн р. Чанчахи, Грузия)

Сель, сошедший по р. Бубисцкали 3 августа 2023 г., разрушил курорт Шови и привел к гибели 32 человек. На рис. 4 показана зона поражения селем в долине р. Бубисцкали протяженностью около 13,5 км, площадью 2,26 км².



Рис. 4. Зона поражения селем 03.08.2023 в долине р. Бубисцкали (показана красным контуром) на космоснимке Sentinel-2 от 17.08.2023 г.

Процесс, который вызвал катастрофу на курорте Шови в Грузии, называли оползнем, и вначале не было информации о зоне его зарождения. 8 августа 2023 г. был выставлен в интернете космоснимок PlanetScope image от 6 августа (*The 4 August, 2023*), который авторами был привязан к космоснимкам Sentinel-2 и космоснимку Google Earth. Было проведено сравнение с ситуацией до схода обвала (селя) и околонтурена зона поражения обвальным и селевым процессом в ледниковой зоне (рис. 5).

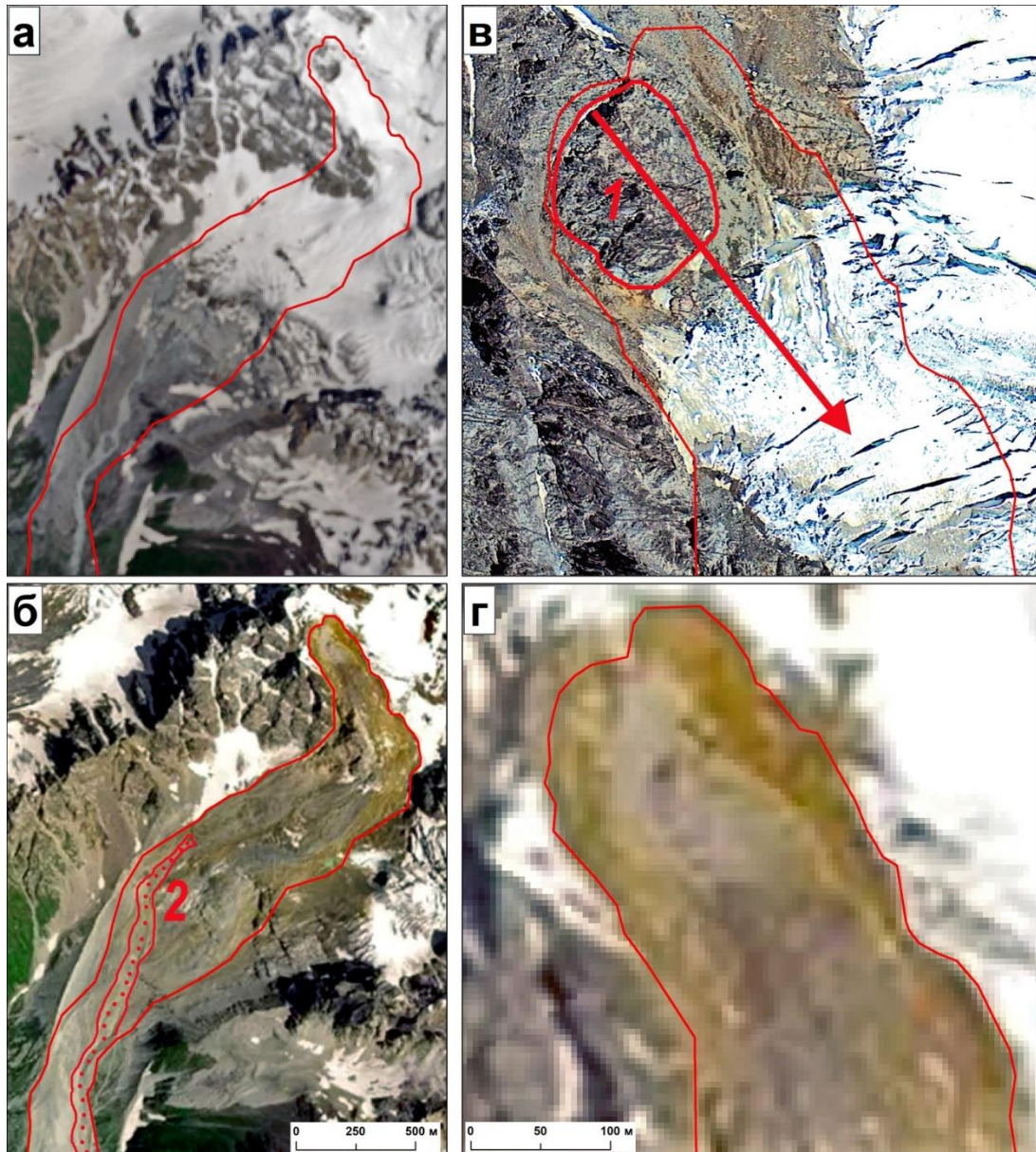


Рис. 5. Очаг обвально-селевого процесса в долине р. Бубисцкали на космоснимках: а – Sentinel-2 от. 13.07.2023, б – PlanetScope от 06.08.2023, в – Google Earth от 19.09.2011, г – PlanetScope от 06.08.2023. 1 – контур обвалившегося скального блока над ледником Буба (современное название в Грузии – Тбилиси), 2 – след прохождения паводка и селя с ледника Буба. Красные контуры на всех фрагментах – зона поражения обвально-селевым процессом 03.08.2023. Красной стрелкой показано направление обрушения скального блока

Линия отрыва обвала, инициировавшего селевой процесс, находилась на высоте 3820 м. Селевые массы остановились на высоте 1400 м. Средний угол наклона пути схода обвально-селевой массы составил $10,2^\circ$.

По данным (*The 4 August, 2023*) начало обвально-селевого процесса определено по сейсмическому сигналу в 14:57 по местному времени, а видео наблюдателей показало, что массы достигли курорта около 15:05 (продолжительность события – 8 мин). Это соответствует средней скорости 20 м/с. В заключении по материалам обследования [*Эксперты назвали, 2023*] отмечено: «К западу от ледника Буба произошел обвал скального массива, который, придя в движение, столкнулся с ледником, вызвав обрушение определенной его части, что могло привести к разливу застоявшихся подледниковых вод, после чего образовавшийся поток стал двигаться с большой скоростью в русле долины. 3 августа 2023 г. совпало несколько геологических и



гидрометеорологических явлений – интенсивное таяние ледника, вызванное изменением климата, осадки в виде дождя, камнепад в верховьях, оползне-эрозионные процессы и прохождение селея в долине Бубисцкали, что привело к образованию селевого потока экстремального характера».

В результате анализа разновременных космоснимков авторами определено, что площадь в плане обрушившего скального блока составляла 15 тыс. м². До обрушения скальный блок был обособлен на склоне эрозионно-осыпными ложбинами, что может характеризовать геолого-тектонические условия как благоприятные, способствующие обвалу. Объем скальных масс оценивается специалистами в 500 000 м³ (данные интернета без конкретных указаний авторов, были оценки и до 1 млн м³). При обрушении была срезана и вовлечена в движение значительная масса льда ледника. Ниже обвальные массы разделились на два потока, обходя скальный выступ и накрыли ледник, перекрыв каналы подледникового стока с последующим быстрым сбросом накопившейся воды в виде мощного водного импульса, который проявился в виде врезавшегося в моренные отложения нового русла потока (№ 2 на рис. 5б). Сам процесс прорыва подледниковых вод ввиду короткого периода обвально-селевого процесса был охарактеризован как «разлив застоявшихся подледниковых вод», что даже не подразумевало времени для их накопления из-за блокировки выходных гротов. Скорее всего, в этом месте были подледные накопления воды в пустотах после предыдущих обвалов, отложения которых видны на космоснимках прошлых лет, и поэтому их сброс в условиях малого времени блокирования был быстрым.

Оценить особенность обвально-селевого процесса в долине р. Бубисцкали можно сравнив с подобными процессами в Швейцарии в долине Бондаска в 2017 г. и в Индии в долине р. Дхаулиганга в 2021 г. [Mergili, 2020; Shugar, 2021]. В Швейцарии обвал объемом более **3 млн м³** (значительно больше, чем в случае Бубисцкали) с захватом 0,6 млн м³ масс льда ледника трансформировался в селевой поток, который принес разрушения в деревне Бондо (высота 840 м) на расстоянии **6 км** (более чем в два раза меньше, чем в случае Бубисцкали) от места отрыва обвала на горе Пиццо Ченгало (3396 м) со средним углом наклона пути около 23°. Обвал с горы Ронти (6063 м) объемом около **27 млн м³** с высоты 5500 м пронесся по долинам Ронти Гад, Ришиганга и Дхаулиганга до трансформации в селевой поток на расстояние около 16 км до высоты 1900 м со средним углом наклона около 13°. Отложения селевого потока и паводка фиксировались на расстоянии 150 км в долине р. Алакнанда.

В отличие от ранее исследованных обвально-селевых процессов процесс в долине р. Бубисцкали выделяется тем, что объем отложенных селевых масс (по оценкам специалистов 5 млн м³) был намного больше, чем объем обрушившегося скального блока. И в то же время скорость селевого потока была очень высока, как при движении ледово-каменных лавин. При этом следы склоновых селевых потоков в нижней части долины р. Бубисцкали, выглядевшие очень свежими на космоснимке 17.08.2023 (рис. 4), почти не отличаются от следов селей на космоснимке Google Earth от 28.07.2020 г., что дает основание уменьшить роль склоновых селей в трансформации обвала в селевой поток. Возможно, в обвально-селевом потоке доля вовлеченного в движение ледникового льда была сопоставима с объемом скального материала, и это стало причиной мощного эрозионного процесса ниже в долине за счет быстрого таяния льда. При этом количество выпавших осадков в сообщениях не приводилось, что не дает возможности оценить их роль в процессе.

Выводы

Результаты исследований селепроявлений последних лет показали, что в условиях изменения климата и повышения темпов деградации ледников и мерзлоты происходит активизация селевой деятельности на участках, где она ранее не была зафиксирована. Новые селевые очаги по особенностям морфологии и генезиса не так явно выражены, что значительно усложняет их распознавание в будущем и тем самым затрудняет оценку селевой опасности. Довольно необычно, что селевые потоки, связанные с деградацией



мерзлоты, могут сходиться в условиях околонулевых температур, что повышает продолжительность селеопасного периода. Селевые процессы чаще становятся каскадными, и это увеличивает протяженность их зоны поражения. Эти и другие особенности селей в высокогорной зоне в дальнейшем следует учитывать при оценке селеопасности территорий, что повышает значение комплексного мониторинга селепроявлений на основе анализа разновременных космоснимков, проведения обследований с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Список литературы

- Акаев А.Р., Шидугов И.Ж. Применение БПЛА для мониторинга экзогенных процессов в приледниковой зоне (на примере ледника Мижирги) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XIII / Науч. ред. И.А. Керимов, В.А. Широкова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашин. М.: ИИЕТ РАН, 2023. С. 425–430. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.54.78.054
- Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Шагин С.И. Пространственно-временные особенности развития разрушительных процессов в ледниковой зоне (на примере последних событий на Памире, в Тибете и Гималаях) // Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Коллективная монография. Научный редактор В.Б. Заалишвили. Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2022. С. 362–369.
- Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Акаев А.Р. Выявление признаков подготовки катастрофических склоновых процессов для предупреждения чрезвычайных ситуаций // Безопасность населения от быстроразвивающихся опасных природных явлений. XXV Международная научно-практическая конференция по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций по теме (в рамках проведения XIV Международного салона средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность-2023»). М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2023. С. 7–18.
- Золотарев Е.А. Эволюция оледенения Эльбруса. Картографо-аэрокосмические технологии гляциологического мониторинга. М.: Научный мир, 2009. 238 с.
- Кадастр селевой опасности юга европейской части России / Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Гедуева (Гяургиева) М.М., Перов В.Ф., Разумов В.В., Сейнова И.Б., Хучунаева Л.В. Москва, Нальчик: Феория, 2015. 148 с.
- Мальнева И.В., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Акаев А.Р. Селевой поток в урочище Джилы-Су (Северное Приэльбрусье) 4 октября 2022 г.: причины и факторы // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях. Материалы Общероссийской научно-практической конференции. М.: ООО «Геомаркетинг», 2023а. С.111–118.
- Мальнева И.В., Докукин М.Д., Анаев М.А., Акаев А.Р., Хаджиев М.М. Условия развития склоновых процессов в Кабардино-Балкарской Республике в 2022 и 2023 гг. // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы Восемнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций. М.: ООО «Геомаркетинг», 2023б. С. 159–169.
- РД 52.30.238-90 Руководство селестокочными станциями и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей. М.: Гидрометеиздат, 1990. 198 с.
- Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья. (Эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 204 с.
- Эксперты назвали причину трагедии в Шови – предварительное заключение [Электронный ресурс]. URL: <https://sputnik-georgia.ru/20230806/eksperty-nazvali-prichinu-tragedii-v-shovi-predvaritelnoe-zaklyuchenie-280988283.html> (дата обращения: 22.03.2024).
- Assessment of Glacier and Permafrost Hazards in Mountain Regions. Technical Guidance Document. Prepared by Allen S., Frey H., Huggel C. et al. Zurich, Switzerland / Lima, Peru, 2017. 72 p. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.26332.90245>
- Mergili M., Jaboyedoff M., Pullarello J., Pudasaini S.P. Back calculation of the 2017 Piz Cengalo–Bondo landslide cascade with r.avaflow: what we can do and what we can learn. // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2020. Vol. 20. Iss. 2. P. 505–520. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-505-2020>
- Shugar D.H., Jacquemart M., Shean D., Bhushan S., Upadhyay K., Sattar A., Schwanghart W., McBride S., Van Wyk de Vries M., Mergili M., Emmer A., Deschamps-Berger C., McDonnell M., Bhambri R., Allen S., Berthier E., Carrivick J.L., Clague J.J., Dokukin M., Dunning S.A., Frey H.,



Gascoin S., Haritashya U.K., Huggel C., Kääh A., Kargel J.S., Kavanaugh J.L., Lacroix P., Petley D., Rupper S., Azam M.F., Cook S.J., Dimri A.P., Eriksson M., Farinotti D., Fiddes J., Gnyawali K.R., Harrison S., Jha M., Koppes M., Kumar A., Leinss S., Majeed U., Mal S., Muhuri A., Noetzli J., Paul F., Rashid I., Sain K., Steiner J., Ugalde F., Watson C.S., Westoby M.J. A massive rock and ice avalanche caused the 2021 disaster at Chamoli, Indian Himalaya // *Science*. 2021. Vol. 373. Iss. 6552. P. 300–306. DOI: 10.1126/science. abh4455

The 4 August 2023 debris flow at Shovi in Georgia. By Dave Petley 8 August 2023. [Electronic data]. Access way: <https://eos.org/thelandslideblog/the-4-august-2023-debris-flow-at-shovi-in-georgia> (access date: 03.22.2024).