

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



Влияние деградации горного оледенения горы Эльбрус на селевую активность

А.Х. Аджиев, Н.В. Кондратьева

Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия, adessa1@yandex.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования селевых процессов на южном склоне горы Эльбрус на высотах около 3000 м над уровнем моря на водотоках рек Гарабаши, Азау и их притоках, стекающих с одноименных ледников. Выполнены оценки объемов селей. Показано, что селевые процессы на высотах более 3000 м н.у.м. обусловлены деградацией горного оледенения и отступлением ледников. Природные условия южного склона Эльбруса благоприятны для формирования селевых потоков по руслам водотоков. На крутых склонах морен отмечается формирование микроселей.

Ключевые слова: *селевые процессы, оледенение, деградация ледников, ледники, морены, Приэльбрусье*

Ссылка для цитирования: Аджиев А.Х., Кондратьева Н.В. Влияние деградации горного оледенения горы Эльбрус на селевую активность. 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. 10–16.

Influence of degradation of mountain glaciation of Mount Elbrus on debris flow activity

A.Kh. Adzhiev, N.V. Kondratyeva

High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia, adessa1@yandex.ru

Abstract. This paper presents the results of a study of debris flow processes on the southern slope of Mount Elbrus at altitudes of about 3000 m above sea level on the watercourses of the Garabashi, Azau rivers and their tributaries flowing from the glaciers of the same name. Estimates of debris flow volumes have been made. It has been shown that debris flow processes at altitudes of more than 3000 meters above sea level are caused by the degradation of mountain glaciation and the retreat of glaciers. The natural conditions of the southern slope of Elbrus are favorable for the formation of debris flows along the beds of watercourses. On the steep slopes of moraines, the formation of microdebris is observed.

Key words: *debris flow processes, glaciation, glacier degradation, glaciers, moraines, Elbrus region.*

Cite this article: Adzhiev A.Kh., Kondratyeva N.V. Influence of degradation of mountain glaciation of Mount Elbrus on debris flow activity. 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. 10–16.

Введение

Селевые процессы Приэльбрусья относятся к числу наиболее изученных районов РФ. Первые научные работы по исследованию селевой деятельности были начаты 1960-е гг. Наблюдения за селевыми процессами с 1960-х гг. здесь ведут Высокогорный геофизический институт и Эльбрусская учебно-научная станция МГУ



имени М.В. Ломоносова. Детальная информация о причинах и последствиях схода селевых потоков в Приэльбрусье, датах схода, объеме селевых потоков систематизирована в работах [*Кадастр селевой опасности юга европейской части России, 2015, Сейнова И.Б., 1992, Аджиев и др. 2020*].

На южном склоне Эльбруса селевая деятельность отмечается в бассейнах рек Азау (верховья р. Баксан), М. Азау, Гарабаши и Терскол. В бассейне р. Азау селеносным является орографически правый ручей, текущий от ледника М. Азау. В предполье этого ледника обнаружены отложения мощного селя, сошедшего в 1940-е гг. [*Сейнова, 1992*]. 19 июля 1978 г. был зафиксирован сел, причиной которого был прорыв приледникового озера площадью около 5000 м². При прорыве воды в крутом эрозионном врезе длиной в 600 м сформировался грязекаменный поток. Затем сел прошел по языку ледника Б. Азау длиной в 1,8 км, покрыв грязью его поверхность. Ниже фронта ледника произошла трансформация грязекаменного селя в водокаменный сел. Последняя, типичная для водокаменного селя волна остановилась в створе у станции МГУ.

В данной работе представлены результаты исследования селевых процессов на южном склоне горы Эльбрус на высотах около 3000 м над уровнем моря на водотоках рек Гарабаши, Азау и их притоках, стекающих с одноименных ледников. Выполнены оценки объемов селей. Показано, что селевые процессы на высотах более 3000 м н.у.м. обусловлены деградацией горного оледенения и отступлением ледников. Природные условия южного склона Эльбруса благоприятны для формирования селевых потоков по руслам водотоков. На крутых склонах морен отмечается формирование микроселей.

Активность селевых процессов определяется на южном склоне горы Эльбрус, прежде всего, значительными масштабами перигляциальной зоны, которая увеличивается по мере отступления ледников. Авторами разработана карта селевых бассейнов и составлен кадастр параметров селевых очагов. Выполнен корреляционный анализ взаимосвязи изменения климата с активизацией селей и отступлением ледников. Показано изменение площади ледников Эльбруса (Малый Азау, Гарабаши, Терскол) за 1957–2022 гг. В 2022 г. площадь ледников Эльбруса составила около 105 км². Высокие темпы деградации ледников Эльбруса сохранились и составляют за последние годы 1,2 км²/год.

Материалы и методы исследования

Оценка влияния деградации горного оледенения горы Эльбрус на селевую активность в водотоках Азау, Гарабаши и их притоках выполнена на основе следующих материалов:

- метеорологических данных на метеостанции Терскол за период наблюдений 1957–2023 гг. Метеостанция Терскол расположена у подножья г. Эльбрус на высоте 2144 м над уровнем моря. Для анализа отобраны многолетние значения среднегодовой температуры теплого периода и количество осадков за год;
- космические и аэрофотоснимки языковой части ледников Гарабаши, Малый Азау и Терскол в различные годы. По снимкам определялись границы ледников в различные годы;
- данные полевых обследований авторов приледниковой зоны в различные годы. Авторы ведут мониторинг гляциальных процессов на южном склоне горы Эльбрус более 30 лет;
- архивные данные о селепроявлениях, материалов изысканий и исследований прошлых лет об условиях развития опасных процессов на исследуемой и прилегающей территории.

В качестве основного временного репера для изучения динамики ледников нами выбран 1957 г., так как формирование архива данных для данной территории начато с этого года. Интенсивное развитие в последние годы спутникового дистанционного зондирования позволило получить адекватную информацию о границах ледников. Для



оценки современного состояния ледников и выявления тенденции их изменения было использовано более 20 аэро- и космоснимков.

На рис. 1 показана схема выше указанных ледников на территории исследований с контурами границ ледников в 1957 и 2023 гг.

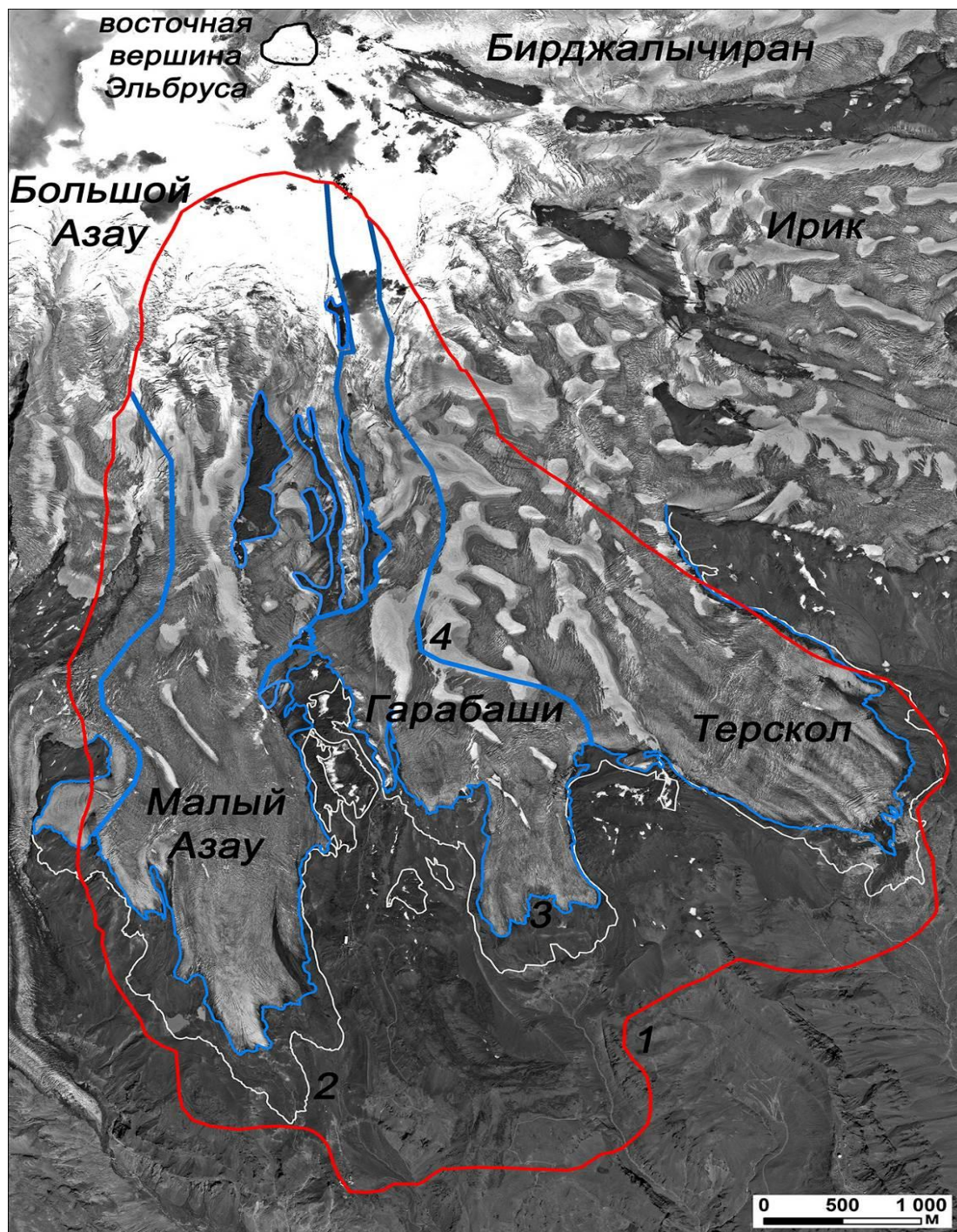


Рис. 1. Схема ледников Малый Азау, Гарабаши, Терскол и территории исследований на космоснимке со спутника Pleiades 23 августа 2023 г.: 1 – граница территории исследования, 2 – контуры ледников в 1957 г., 3 – контуры ледников в 2023 г., 4 – ледоразделы.

Деградация вышеуказанных ледников в различные периоды показаны также в ряде работ [Васильчук Ю.К., 2010, Золотарев Е.А., 2009, Золотарев Е.А., 2012]. Отступление ледников приводит к высвобождению значительных объемов грязекаменной массы.

На рис. 2 и 3 представлены участки приледниковой территории на высоте 3380 м.



Рис. 2. Участок у языка ледника Гарабаши, оголившийся в последние годы



Рис. 3. Селевой вал на высоте около 3100 м (устье р. Гарабаши)

Моренные и флювиогляциальные отложения формируются в предполях ледников и ниже них по долинам рек Гарабаши, М. Азау и их притоков. Следует отметить, что гидрологический режим указанных рек формируется большим количеством притоков, например у р. Гарабаши 9 притоков, истоки которых расположены на одноименном



леднике. На восточной части южного склона горы Эльбрус рыхлые отложения представлены фрагментарно и сели не отмечены.

Благоприятными для селеформирования на южном склоне Эльбруса являются скопления рыхлых отложений на притоках рек Малый Азау и Гарабаши. К ним относятся береговые морены и скопления обвально-осыпных отложений в прирусловых участках. Крутые внутренние склоны береговых морен способствуют формированию микроселей. На участках, где морены прорезаются руслами водотоков, могут формироваться селевые врезы. Геологические условия благоприятствуют накоплению потенциальных селевых массивов в руслах водотоков (рис. 4).



Рис. 4. Участок левого притока р. Гарабаши, где морены прорезаются руслами водотоков и сформировались селевые врезы. Характер поверхности в прирусловой части р. Гарабаши ниже ее выхода с ледника

Трещиноватый характер лав на участках отступления ледников приводит к уменьшению поверхностного стока за счет фильтрации, что лимитирует активность склоновых селей. Максимальная глубина слоя рыхлых отложений близ русла водотоков не превышает 2 м. Такой же характер поверхности сохраняется до выполаживания продольного профиля соленосных водотоков.

Основной причиной активизации селевых процессов на высотах более 3100 м является отступление ледников. Специфика селевого режима ограничивает селевую деятельность на высотах более 3100 м июлем-началом сентября. По долине ручьев без названия, вытекающих из-под ледника Гарабаши ниже фронта ледника, могут проходить селевые потоки высотой фронта не более 2 м, расходом до $65 \text{ м}^3/\text{с}$ и максимальной скоростью до $5,1 \text{ м/с}$. Оценка выполнена в соответствии с требованиями ВСН 03-76 [Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76. Гидрометеиздат, 1976]. По долине ручья М. Азау (левый исток) формирование селевых потоков возможно с высоты около 3000 м. Отступление ледников и активизация селевых процессов характерна и для других участков Кавказского горного массива [Докукин М.Д., 2012, Докукин М.Д. и др. 2012].

Термический режим территории исследования

Динамика ледников зависит от соотношения аккумуляции и абляции. Два фактора – термический режим и количество осадков определяют изменения размеров и объемов льда в ледниках [Frank Paul, 2015]. По данным метеостанции Терскол среднегодовое количество осадков на территории исследования за анализируемый период не изменилось. Термический режим территории, занятой исследуемыми ледниками, характеризуется как район с резко выраженным континентальным климатом и вертикальной зональностью. Он наиболее близок к термическому режиму на метеостанциях «Пик Терскол» и «Чегет» (около 3100 м).



По их данным температура воздуха в исследуемом районе имеет резко выраженный годовой ход с минимальной средне зимней температурой $2,6^{\circ}\text{C}$ и максимальной температурой летом $11,4^{\circ}\text{C}$. Наблюдается достаточно теплая осень, $3,7^{\circ}\text{C}$, по сравнению с более прохладной весной, $1,8^{\circ}\text{C}$.

По полученным результатам статистического анализа данных за весь период исследования с 1957 по 2023 гг. (66 лет) годовые, весенние и осенние температуры оставались практически постоянными с небольшой отрицательной тенденцией их уменьшения ($-0,03^{\circ}\text{C}/10$ лет, $-0,04^{\circ}\text{C}/10$ лет и $-0,05^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно). Средние зимние температуры уменьшались со скоростью $-0,16^{\circ}\text{C}/10$ лет, их скорость уменьшения сравнима со скоростью увеличения средних летних температур $+0,17^{\circ}\text{C}/10$ лет. Летние температуры также отличались максимальной величиной вклада тренда в суммарную дисперсию ($D = 10\%$).

С середины 1970-х гг. изменение термического режима исследуемого района по данным м/станции Терскол происходило за счет значительного роста средних летних температур при относительной стабильности других среднесезонных температур. Текущее десятилетие (2013–2023 гг.) характеризуется ростом среднелетних и средневесенних температур, с наиболее значимым вкладом за счет увеличения абсолютных максимумов температур. У среднелетних и среднеосенних температур наблюдается небольшая отрицательная тенденция с наибольшим вкладом в нее абсолютных минимумов температур.

В результате проведенного корреляционного анализа между среднесезонными температурами м/станции Терскол и характеристиками деградации ледника Гарабаши авторами получено, что весьма высокая зависимость скорости изменения, как общей площади, так и его правого языка наблюдается от изменения средних летних температур за 66-летний период исследования.

Выводы

По результатам исследования динамики ледников Малый Азау, Гарабаши и Терскол можно сделать следующие выводы:

С использованием данных космических снимков, аэрофотоснимков и термического режима оценены темпы деградации ледников Малый Азау, Гарабаши и Терскол. Показано, что за последние 66 лет их деградация происходила на фоне стабильных среднегодовых температурных условий.

Термический режим играет важную роль в процессе отступления ледников Центрального Кавказа. Причинами деградации исследуемых ледников являются значительные положительные аномалии летних температур. Показано, что в 21 в. произошло увеличение темпов деградации ледников под действием роста среднесуточных летних температур. Это вызвано усилением скорости роста летних температур до $0,4^{\circ}\text{C}/10$ лет в период глобального потепления с 1976 г. по настоящий период.

Основной причиной активизации селевых процессов на южном склоне г. Эльбрус на высотах более 3100 м является отступление ледников. Специфика селевого режима ограничивает селевую деятельность на высотах более 3100 м июлем-началом сентября. По долине ручьев без названия, вытекающих из-под ледника Гарабаши ниже фронта ледника, могут проходить селевые потоки высотой фронта не более 2 м, расходом до $65\text{ м}^3/\text{с}$ и максимальной скоростью до $5,1\text{ м}/\text{с}$.

Финансирование

Работа выполнена за счет средств гранта «Создание карт и кадастра приледниковых озер на Северном Кавказе и оценка рисков чрезвычайных ситуаций, вызванных возможным их прорывом» Российского научного фонда (Соглашение № 24-27-20006).



Список литературы

- Кадастр селевой опасности юга европейской части России. Отв. ред. канд. геогр. наук, доцент Н.В. Кондратьева. Нальчик: Печатный двор, 2015.
- Сейнова И.Б. Селевые потоки Баксанской долины. – Сб. Природопользование Приэльбрусья. М., МГУ, 1992, С. 85–106.
- Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Кондратьева Н.В., Юрченко Н.В. Современное состояние ледников Большого Кавказа. Нальчик, ООО «Фрегат», 2020. 132 с.
- Васильчук Ю.К., Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., Мухина Ю.С. Быстрое сокращение ледника Большой Азау в Приэльбрусье на фоне стабильных климатических условий и возникающие при этом риски. ГеоРиск, № 2, 2010. – С.16–29.
- Золотарев Е.А. Эволюция оледенения Эльбруса. Картографо-аэрокосмические технологии гляциологического мониторинга. М.: Научный мир. 2009. – 258 с.
- Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // Лед и снег. 2012. № 2 (118). – С. 15–22.
- Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76. Гидрометеоиздат, 1976
- Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Багов А.М., Маркина А.В. О перестройке гидрографической сети северо-восточного подножия Эльбруса (бассейны рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су) // Лед и снег. 2012. № 2 (118). – С. 23–30.
- Докукин М.Д., Савернюк Е.А. Наступание ледников в конце XX века как фактор активизации гляциальных селевых процессов (Центральный Кавказ) // Труды Второй конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», посвященной 100-летию С.М. Флейшмана. Отв. ред. С.С. Черноморец. – М.: Географический факультет МГУ, 2012. – С. 31– 32.
- Frank Paul, Andreas Bauder, Christoph Marty, Jeannette Notzli. Schnee, Gletscher und Permafrost. Kryosphärenbericht für die Schweizer Alpen // DIE ALPEN, September 2015, pp. 46–52.