

# **DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection**

---

Proceedings  
of the 7<sup>th</sup> 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

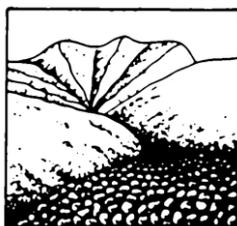
# 泥石流： 灾害、风险、预测、防治

---

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



## Тектонические структуры в районе ледника Колка и их влияние на развитие экзогенных и эндогенных процессов

А.Ф. Барановский, Э.В. Запорожченко

*Селевая ассоциация, Пятигорск, Россия, baranovskiy24@mail.ru, ednad17@mail.ru*

**Аннотация.** Предложена схема тектонического строения в районе долины р. Колка (Россия, РСО-Алания), в том числе, в ледниковом цирке Колка установлены разрывные неотектонические структуры. Рассмотрены вопросы возможного влияния на ледник Колка современных тектонических движений, с которыми в 2002 г. были связаны проявления вулканогенных процессов, масштабных обвалов и, в конечном итоге, сходы каменно-ледовой лавины и селевых потоков.

**Ключевые слова:** *Геналдонская катастрофа, ледник Колка, долина р. Колка, каменно-ледовая лавина, селевой поток, неотектоника, активные тектонические зоны, обвалы, газовые извержения*

**Ссылка для цитирования:** Барановский А.Ф., Запорожченко Э.В. Тектонические структуры в районе ледника Колка и их влияние на развитие экзогенных и эндогенных процессов. 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. 38–49.

## Tectonic structures in the Kolka Glacier area and their influence on the development of exogenous and endogenous processes

A.F. Baranovsky, E.V. Zaporozhchenko

*Debris Flow Association, Pyatigorsk, Russia, baranovskiy24@mail.ru, ednad17@mail.ru*

**Abstract.** A scheme of the tectonic structure in the area of the Kolka River valley (Russia, RSO-Alania) is proposed, including discontinuous neotectonic structures in the Kolka glacial cirque. The issues of the possible influence of modern tectonic movements on the Kolka glacier, which in 2002 were associated with manifestations of volcanogenic processes, large-scale landslides and, ultimately, descents of rock-ice avalanches and debris flows, are considered.

**Key words:** *Genaldon disaster, Kolka Glacier, Kolka River valley, rock-ice avalanche, debris flow, neotectonics, active tectonic zones, landslides, gas eruptions*

**Cite this article:** Baranovsky A.F., Zaporozhchenko E.V. Tectonic structures in the Kolka Glacier area and their influence on the development of exogenous and endogenous processes. 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. 38–49.

### Введение

Ледник Колка, расположенный в истоках реки Геналдон (Российская Федерация, Республика Северная Осетия – Алания, рис. 1, 2), неоднократно становился причиной формирования грандиозных по масштабам каменно-ледовых лавин, сход которых каждый раз сопровождался бедствиями для людей. Документально зафиксированы случаи схода таких лавин, трансформирующихся в селевые потоки, 3 июля 1902 г., 6 июля 1902 г. и 20 сентября 2002 г.

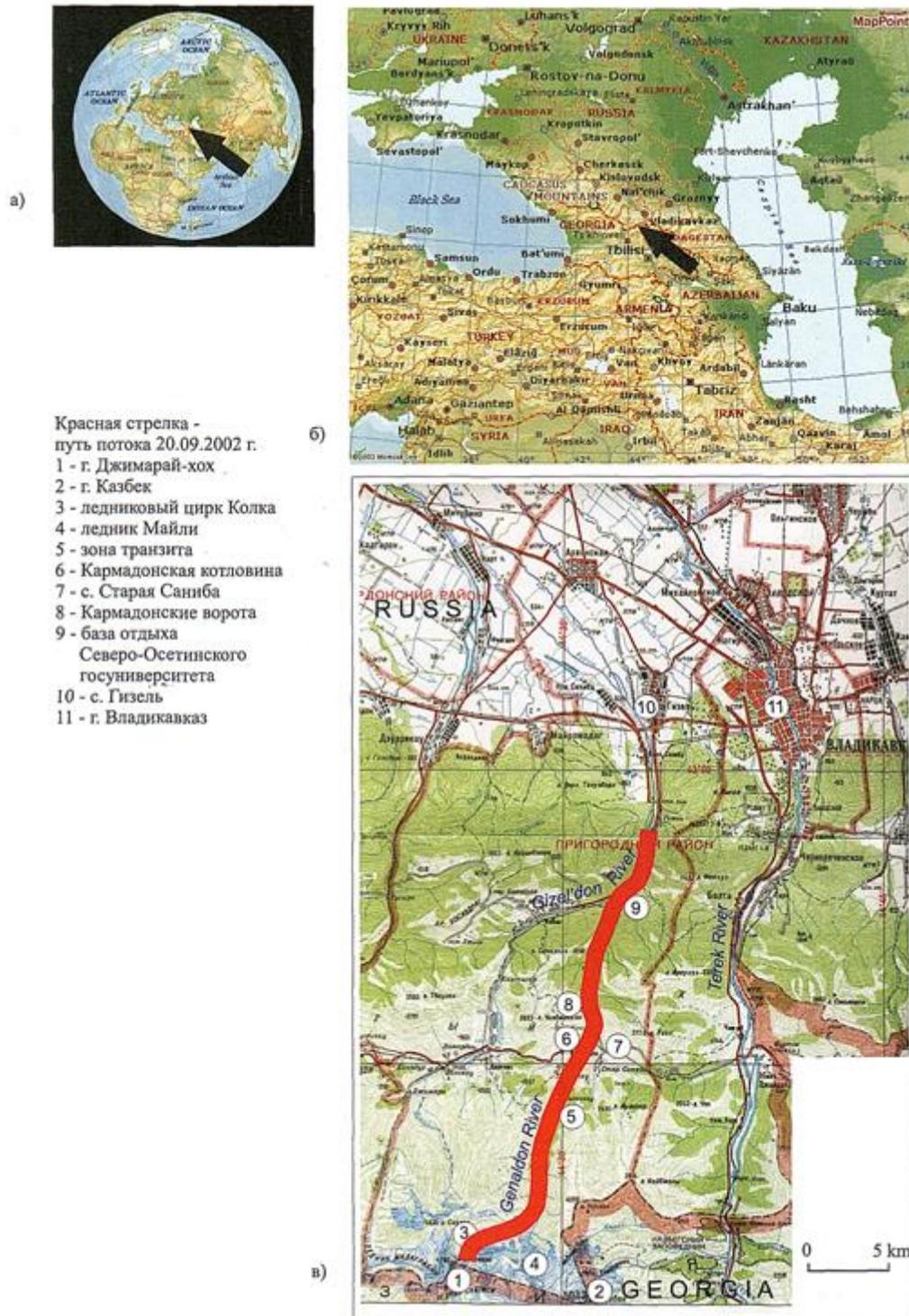


Рис. 1. Район Геналдонской катастрофы: а – положение в мире (картографическая основа: Microsoft Corp., 2003); б – положение на Кавказе (картографическая основа: Microsoft Corp., 2003); в – детали строения района (картографическая основа: Роскартография, 2000). По материалам [Петраков, 2006]

В 2002 г. произошел одномоментный выброс всей массы полого залегающего ледника Колка, при этом средняя скорость лавины в долине р. Геналдон составила 360 км/ч [Заалишвили, 2014]. По данным В.В. Поповнина с соавторами «Каменно-ледовая масса, основную часть которой составлял лед Колки, прошла 19 км <...> до удара о Скалистый хребет. <...> На заключительном этапе катастрофы произошло



формирование грязекаменных селевых потоков ниже ледового тела, остановленного тесниной Скалистого хребта. <...> После Кармадонских ворот грязекаменный сель прошел 17 км. <...> Объем селевых отложений оценивается <...> в 3–5 млн м<sup>3</sup> [Поповнин, 2003]. Эти события и привели к Геналдонской катастрофе с человеческими жертвами.

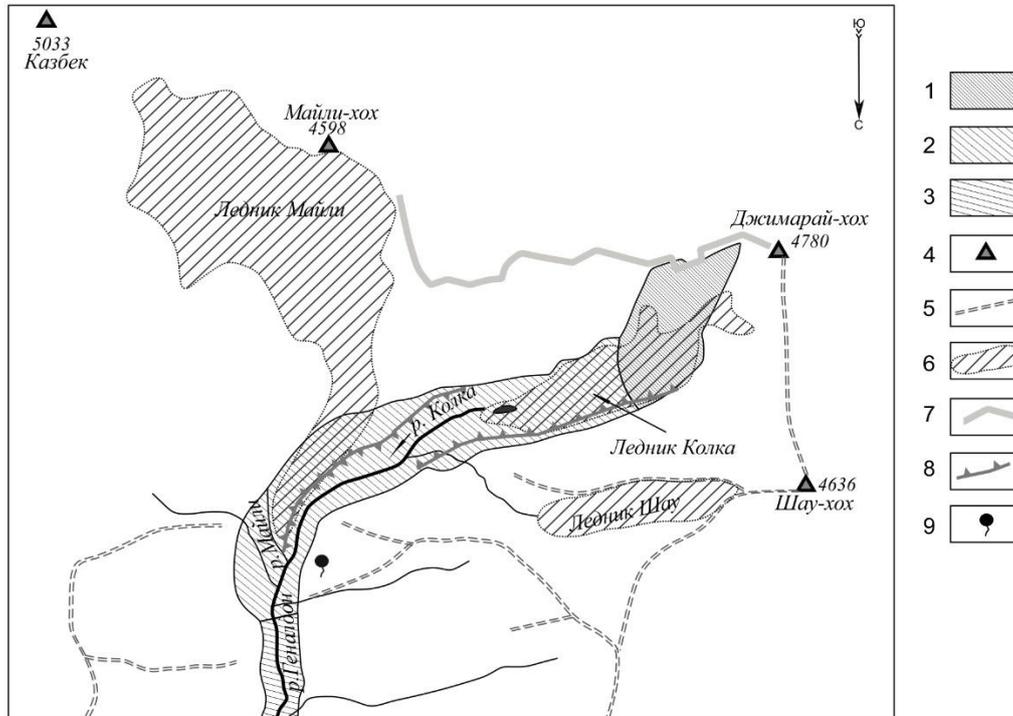


Рис. 2. Обзорная схема бассейна р. Колка: 1 – зона фирново-каменно-ледовых обвалов; 2 – зона начального движения ледово-каменной массы в 2002 г.; 3 – зона транзита ледово-каменного селя по р. Геналдон; 4 – горные вершины; 5 – горные хребты; 6 – ледники (в границах 2001 г.); 7 – участок висячих ледников; 8 – береговые морены ледников Колка и Майли; 9 – Верхне-Кармадонские минеральные источники. Схема составлена по материалам [Поповнин, 2003]

Мгновенная разгрузка ледника и огромная скорость движения каменно-ледовой лавины, общая масса которой оценивается приблизительно в 100 млн т, стали предметом многочисленных дискуссий и гипотез. Большинство исследователей считают, что для развития такого рода неординарных природных явлений необходимо мощное внешнее воздействие на ледник.

Анализ происходивших в ущелье Колка климатических, эндогенных и экзогенных процессов говорит о том, что Геналдонская катастрофа «была обусловлена, прежде всего, глубинными эндогенными геологическими факторами – тектонической активизацией и раскрытием зон повышенной проницаемости земной коры (глубинных разломов)» [Бергер, 2006].

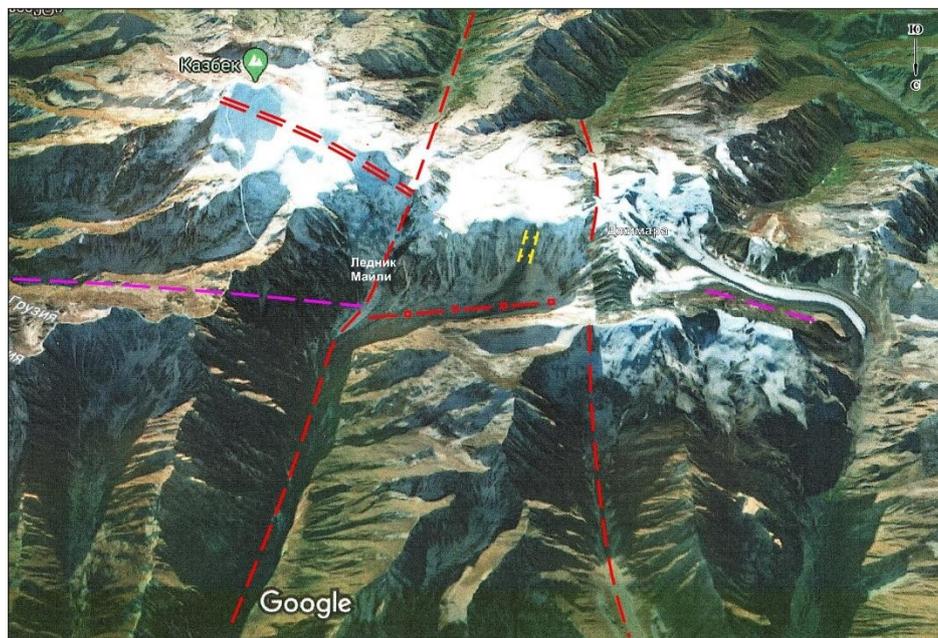
В работе А.Ф. Барановского, Э.В. Запорожченко с большой долей вероятности показано, что выброс ледника в 2002 г. произошел в результате газовых извержений в ледниковом цирке Колка [Барановский, 2023]. Предполагалось, что место расположения газовых взрывов под тыловой частью ледника Колка приурочено к участку пересечения активных разломов.

Ниже, на основе дешифрирования материалов космической съемки приводится характеристика разноранговых разрывных тектонических нарушений, формирующих современный облик долины р. Колка и оказывающих влияние на развитие экзогенных и эндогенных процессов в ледниковом цирке Колка.



## Методы

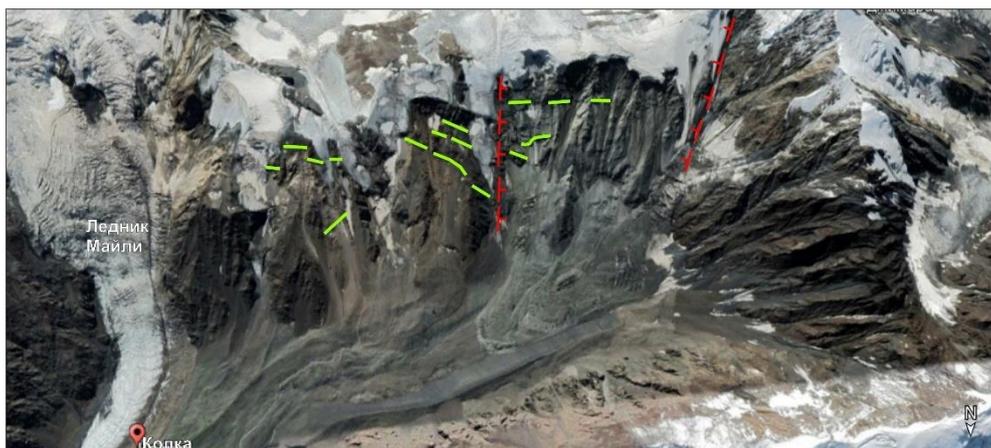
Результаты дешифрирования тектонических структур в районе долины р. Колка представлены на рис. 3–5. Для визуальной привязки, на всех рисунках подписан ледник Майли, который также показан на обзорной схеме бассейна р. Колка (рис. 2).



### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Предполагаемые разрывные нарушения
- == == == - северо-западного простирания
- - - - субмеридионального простирания, ограничивающие поперечную тектоническую зону
- ■ - ■ - разлом, проходящий вдоль долины р. Колка
- ■ - ■ - разломы, вынесенные с геологической карты м-ба 1 : 200 000 (1984г.)
- /// - зона обвалов, активизация которых началась в 2019 г.

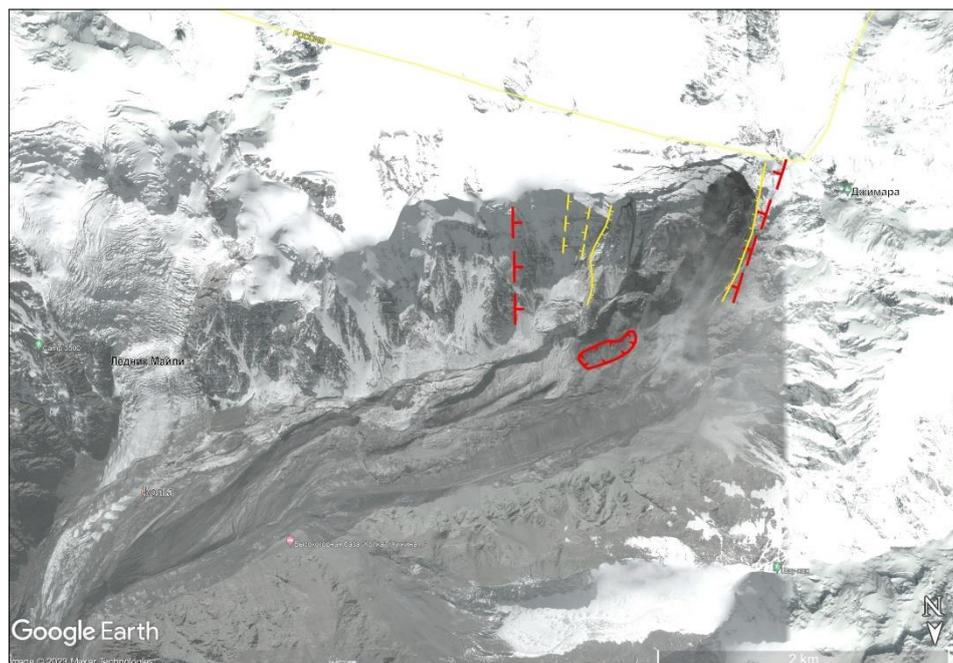
Рис. 3. Обзорная схема с элементами тектоники. Подложка: космический снимок Google, 2020 г.



### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- - - - контакты переслаивающихся пород вулканогенно-осадочной толщи, установленные по космоснимкам
- - - - границы западного блока, сложенного тектонически ослабленными сильно тещиноватыми породами

Рис. 4. Строение поперечной (меридиональной) тектонической зоны. Подложка: космический снимок Google, 2019 г.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

-  - границы западного блока
-  - участок максимального развития обвалов в 2002 г.
-  - границы участка обвалов, активизация которых началась в 2019 г.
-  - граница взрывной воронки, образовавшейся в 2002 г. в результате газовых извержений

Рис. 5. Схема расположения обвальных участков и проявлений газовых извержений в ледниковом цирке Колка. Подложка: космический снимок Google от 25.09.2002

Рис. 3 представляет собой мелкомасштабную схему, охватывающую фрагмент высокогорной восточной части Центрального Кавказа с господствующей вершиной Казбек (абсолютная отметка восточной вершины – 5034 м) и расположенной в 9 км к западу от нее горой Джимарайхох (Джимара – 4780 м). В этом районе широко развито современное оледенение, в том числе, к северо-востоку от горы Джимарайхох находится ледник Колка.

Дешифрирование линейных неотектонических структур осуществлялось по характерным формам рельефа, главным образом, по врезам речных долин и уступам. Прямолинейность выделенных разломов свидетельствует о том, что все они являются крутопадающими.

На рис. 4 и 5 в ледниковом цирке Колка в крупном масштабе показаны тектонические структуры, участки проявления обвального процесса и газовых извержений.

## Результаты

На обзорной схеме с элементами тектоники (рис. 3) отражены разрывные нарушения северо-западного, субмеридионального и широтного простирания. Среди них, главной тектонической структурой, вероятно, является разлом общекавказского (северо-западного) простирания, который прослеживается от г. Казбек до ледника Майли. Далее, западным продолжением этого нарушения, по-видимому, является разлом, показанный на геологической карте масштаба 1:200 000 (ПГО «Севкавказгеология», 1989 г.) и проходящий по прямолинейному участку правого истока р. Мидаграбиндон, вдоль долинного ледника Мидаграбин.



На участке между ледником Майли и г. Джимарайхох нарушение СЗ простирания в рельефе явно не прослеживается, поскольку его пересекает более молодая поперечная меридиональная тектоническая зона, ограниченная с запада и востока разломами, расстояние между которыми постепенно сужается в южном направлении. В пределах поперечной зоны находится широтно ориентированное ущелье Колка, при этом, западный разлом поперечной меридиональной зоны проходит в истоках реки Колка, пересекая восточный склон г. Джимарайхох, а восточный – в районе слияния рек Колка и Майли, вдоль долин Майли – Геналдон.

Показанный на рис. 3 широтный разлом, протягивающийся от нижней части ледника Майли в восточном направлении, был откартирован при геологической съемке масштаба 1:200 000 и, скорее всего, является более древним по отношению к неотектоническим нарушениям СЗ и меридионального простирания. Западное продолжение широтного разлома вдоль р. Колка на геологической карте не показано, но подтверждается данными В.М. Котлякова с соавт.: «Ледник Колка находится на пересечении двух разломов – крупного субширотного, на котором расположена и долина Колки, и субмеридионального, проходящего в тыловой части ледника» [Котляков, 2014, с. 96]. Следует отметить, что в долине Колки широтный разлом в рельефе явно не выражен. Вместе с тем, о его наличии свидетельствуют некоторые косвенные признаки, в том числе: прямолинейность ущелья и его правобережного гребня, различное геоморфологическое и геологическое строение левого и правого склонов, вытянутая вдоль долины форма взрывной воронки, образовавшейся в 2002 г.

Строение верхней части поперечной меридиональной тектонической зоны в разрезе отражено на крутом правобережном склоне ущелья Колка (рис. 4), где обнажаются породы вулканогенно-осадочной толщи нижней подсвиты кистинской свиты и верхней подсвиты циклаурской свиты нижней юры (геологическая карта листа К-38-IX масштаба 1:200 000, ПГО «Севкавгеология», А.Н. Губкина, В.А. Ермаков, 1989 г.).

В пределах поперечной зоны, общая ширина которой на этом участке составляет порядка 4 км, уверенно выделяются два самостоятельных тектонических блока – восточный и западный. Граница между блоками достаточно четкая крутопадающая, практически вертикальная.

В западном блоке вулканогенно-осадочная толща характеризуется более интенсивной трещиноватостью и выделяется общим серым фототонном.

Определение характера движения этих блоков, положения и угла наклона плоскости сместителя разрывных нарушений является сложной задачей, для решения которой необходимо проведение детальных исследований, включая полевые наблюдения. Но очевидно, что оба блока находятся в зоне влияния современных тектонических движений и испытывают давление с разрядкой напряжений, прежде всего, в западном блоке, где происходят интенсивные обвалы.

В восточном блоке, на участке, прилегающем к западному блоку, общая субгоризонтальная ориентировка контактов пород меняется на более крутое залегание. Кроме того, на границе блоков по тектоническому нарушению наблюдается смещение переслаивающихся пачек осадочных и вулканогенных пород.

Западный блок представляет собой разрывную зону, сложенную тектонически ослабленными сильно трещиноватыми вулканогенно-осадочными породами. Поверхность этого участка склона изрезана эрозионными ложбинами. Разрушение пород западного блока происходит более интенсивно по сравнению с восточным блоком.

Установленные структуры поперечной тектонической зоны нашли отражение в рельефе и в плане образуют протягивающиеся южнее правобережного склона ущелья Колка линейные меридиональные геоморфологически выраженные формы. В том числе, центральной части тектонически ослабленной зоны западного блока соответствует пониженный рельеф (рис. 3). Сама же поперечная меридиональная зона на участке между г. Джимарайхох и правым бортом долины р. Майли в целом характеризуется более низким рельефом и возможно представляет собой грабен – вытянутый в меридиональном направлении опущенный тектонический блок, ограниченный



сбросами. Как отмечает С.А. Несмеянов: «<...> практически все <...> приповерхностные разрывы получают отражение в рельефе, т.е. являются рельефообразующими» [Несмеянов, 2012, с. 305].

В 2002 г. интенсивные обвалы горных пород и льда на правом борту ледникового цирка Колка были приурочены именно к западному тектоническому блоку (рис. 5), где в результате тектонических и гравитационных процессов сформированы выделяющиеся в рельефе крупные ступенчато расположенные гравитационно-тектонические блоки пород [Барановский, 2023] (рис. 6). Общая ширина западного блока на правом борту ледникового цирка Колка составляет 1,2 км, а участка максимальной активизации обвалов в 2002 г., который, собственно, и является отражением разлома, ограничивающего поперечную меридиональную тектоническую структуру с запада, – порядка 500–600 м.

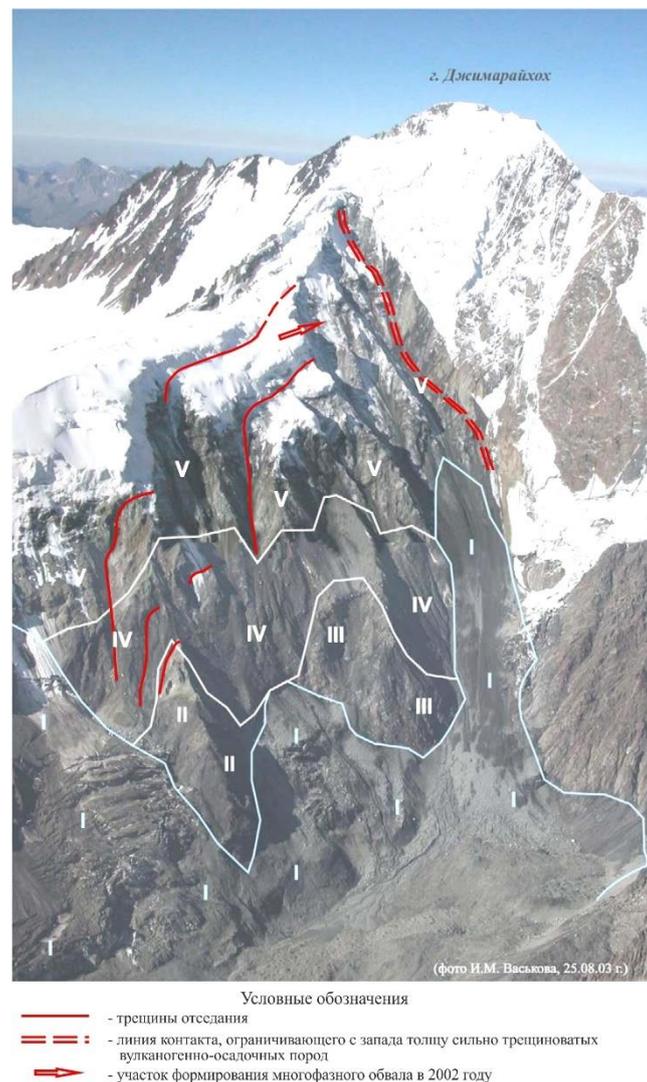


Рис. 6. Зона обвала с восточного гребня горы Джимарайхох. В основании склона лежат ледники, закрытые с поверхности чехлом обломочного материала (I), лавы и силлы долеритов (II), прорванные штоками гранодиоритов (III), которые перекрываются пачкой графитизированных сланцев (IV), выше залегают вулканогенно-осадочные породы (V), которые венчаются ледово-фирновыми полями. По данным [Васьков, 2016, Барановский, 2023]. Фото И.М. Васькова, 25.08.2003

По сведениям О.В. Тутубалиной с соавт., «установлено, что резкая активизация обвалов с северного склона г. Джимарайхох произошла в конце июля – первой половине



августа 2002 г. Обвалы льда с висячих ледников практически завершились к 20 сентября, скальные обвалы продолжались длительное время после катастрофы» [Тутубалина, 2005].

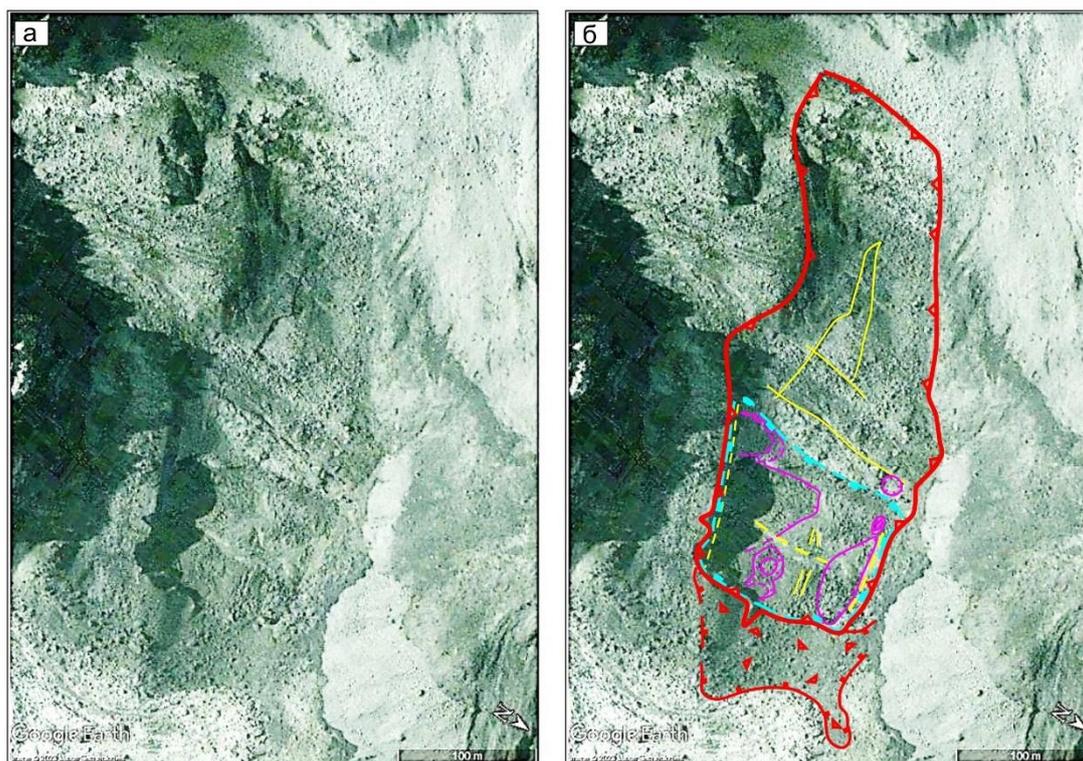
Начиная с 2019 г., немного восточнее участка интенсивных обвалов 2002 г., на космоснимках фиксируется другая, меньшая по масштабам, зона обвалов горных пород, которая, вероятно, отражает новый участок разрядки тектонических напряжений (рис. 3, 5).

Единственный снимок, представленный в Google до 2002 г. и датированный 1985-м годом имеет низкое качество изображения. Тем не менее, на нем видно, что в районе тектонически ослабленной зоны западного блока крутой правобережный склон ледникового цирка Колка завален большими массами обрушившегося льда и горных пород.

Проявление гравитационных процессов с периодами резкой активизации обвалов, сильная трещиноватость горных пород, образование гравитационно-тектонических блоков, являются весомыми аргументами, указывающими на современную тектоническую активность западного блока, который является отражением зоны разрывного нарушения сбросового типа. Скорее всего, вдоль этого разлома происходят максимальные смещения в пределах поперечной меридиональной зоны. В этой связи обращают на себя внимание следующие выводы С.А. Несмеянова: «Сложность строения разрывных структур позволяет допустить принципиальную возможность самостоятельного перемещения внутренних элементов шовных, разрывных и трещинных зон относительно обоих крыльев этих разрывных структур, т.е. осуществление особых внутриразрывных тектонических движений» [Несмеянов, 2012, с. 314–315]; «<...> можно считать доказанным существование особого вида тектонических движений – высокоскоростных, кратковременных смещений блоков в пределах всех типов разрывных структур». «Активными могут быть тектонические структуры любого ранга и размера». «Зафиксированы смещения <...> в зонах шириной от 0,1 до 6–8 км с обычной продолжительностью от нескольких месяцев до первых лет» [Несмеянов, 2012, с. 301, 315, 319].

С неотектоническими процессами вероятнее всего связана и высокая сейсмическая активность, установленная в летний период 2002 г., за 1–2 месяца до схода ледника Колка: «Детальное исследование сейсмической обстановки в Северной Осетии в 2002 г., выполненное В.Н. Дробышевым по данным Геофизической службы РАН, показало, что самым сейсмически активным месяцем в этом году был июль: за 18 суток массив Джимарайхох испытал шесть сейсмических ударов. 14 июля произошло самое большое землетрясение: в эпицентре, который находился всего в 8 км к западу от вершины, сила подземного толчка достигала 5,2 баллов. В этот же день было еще два удара, оказавших воздействие на гору силой 2–3,5 балла. <...> Следующее значительное землетрясение силой 3,4 балла зафиксировано здесь 22 августа, с эпицентром в 70 км к северо-северо-западу от горы Джимарай-хох» [Котляков, 2014, с. 92].

На северном продолжении западного блока, в днище долины р. Колка, расположена взрывная воронка (рис. 5, 7), образовавшаяся в результате газовых извержений, ставших главной причиной выброса ледника Колка 20 сентября 2002 г. [Барановский, 2023]. Вероятнее всего, место проявления газовых извержений приурочено к узлу пересечения широтного разлома, проходящего вдоль долины р. Колка, с западным тектоническим блоком, где в тектонически ослабленной зоне породы наиболее проницаемы для освобождающихся из магмы газов и пара. Хорошо сохранившийся вокруг взрывной воронки шлейф обломков горных пород (рис. 7) может свидетельствовать о неоднократных взрывах газа и пара, т.к. выброшенный из воронки при первом извержении обломочный материал не мог остаться нетронутым. При движении, ледник должен был захватить эти обломки или хотя бы оставить на поверхности шлейфа какие-то следы.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

-  - общий контур углубления, образованного в ложе ледника Колка в результате взрывных выбросов газов
-  - граница структуры проседания
-  - сплошной шлейф обломочных отложений в зоне выброса газовых извержений
-  - взрывные воронки с насыпными валами
-  - трещины и нарушения

(установленные границы проведены сплошной линией, предполагаемые - пунктирной линией)

Рис. 7. Участок проявления эндогенных процессов в днище долины р. Колка: а – фрагмент космического снимка Google от 25.09.2002; б – фрагмент того же космического снимка с данными интерпретации форм рельефа, сформировавшихся в результате деятельности неотектоники и газовых извержений. По данным [Барановский, 2023]

О возможности проявления вулканогенных процессов в долине р. Колка также свидетельствуют данные В.Н. Арбузкина с соавт. и А.Г. Гурбанова. «О наличии приповерхностной магматической камеры в истоках р. Геналдон и, что особенно важно, под ледником Колка свидетельствуют результаты обработки тепловых космических снимков <...>», «<...> из анализа графиков с динамикой температур видно, что пики максимальных значений температур появлялись практически одновременно. Такое поведение теплового поля можно объяснить динамикой эндогенных процессов, например поступлением в приповерхностную магматическую камеру/камеры новых (и небольших по объему) порций магматического расплава <...>» [Арбузкин, 2014].

А.Г. Гурбанов, рассматривая критерии оценки современного состояния Казбекского вулканического центра, указывает на «наличие современных приповерхностных магматических камер и питающего их глубинного очага с расплавом, выявленных дистанционными и геофизическими методами исследований» [Гурбанов, 2014].

Таким образом, наблюдающаяся на протяжении длительного времени активность обвалов горных пород и льда в районе одного и того же участка правобережного склона ледникового цирка Колка, а также проявление масштабных обвалов и газовых извержений в 2002 г. свидетельствуют о том, что зона разлома, ограничивающая



поперечную меридиональную структуру с запада, и, вероятно, широтный разлом, проходящий по долине р. Колка, являются современными активными разрывными нарушениями, в пределах которых в определенные периоды времени резко нарастают тектонические напряжения и амплитуды смещений по разломным зонам.

Надо полагать, что тектонические движения, особенно в периоды сильной активизации, оказывают как непосредственное, так и опосредованное влияние на ледник Колка, тыловая часть которого расположена на пересечении широтного и меридионального разломов. В том числе, в 2002 г. масштабные обвалы, вызванные неотектоническими движениями, сформировали мощный конус выноса на поверхности ледника Колка («к моменту схода лед перевалил через левую морену, т.е. увеличил свою мощность более чем в 2,5–3 раза за счет обвальных масс всяких ледников» [Чотчаев, 2014]), а газовые извержения, которые, вероятно, также связаны с неотектоникой, стали причиной одномоментного выброса всей огромной массы ледника 20 сентября 2002 г. [Барановский, 2023].

За прошедшие годы после Геналдонской катастрофы 2002 г. выполнен большой объем научных исследований разной направленности, высказано множество предложений о проведении мониторинговых наблюдений, предупредительных и даже превентивных мер с целью исключения в дальнейшем трагических последствий, связанных с внезапными сходами ледника Колка, формирующими каменно-ледовые лавины и селевые потоки. В том числе, гляциологический мониторинг [Петраков, 2017] позволяет получить очень важные данные о динамике и объемах постоянно меняющегося ледника Колка.

В этой связи, приведем мнение Бергера М.Г. о целях и задачах исследований после Геналдонской катастрофы 20 сентября 2002 г.: «В последнее время получили распространение представления о том, что неважно, что (какое именно природное явление) и почему (благодаря действию каких именно природных факторов) произошло 20 сентября 2002 г. на леднике Колка. Главное – создать систему мониторинга, чтобы знать «что происходит» <...> Без ясного понимания природы катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, того, что произошло 20 сентября 2002 г., каковы непосредственные причины этой катастрофы (вызвавшие ее природные факторы), что ей предшествовало – каковы ее предшественники (предупредительные признаки), никакая обоснованная и грамотная система мониторинга не может быть создана» [Бергер, 2014a].

«Установление природы грандиозной катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г., определение причин этой катастрофы, источников энергии, движущих сил, условий подготовки и проявления, предвестников, механизма протекания – сложная научная проблема, решение которой требует глубоких знаний и больших усилий. Оно имеет отнюдь не только теоретико-познавательное, но и исключительно большое прикладное значение: только на основе решения этой проблемы возможны грамотный целенаправленный мониторинг состояния ледника Колка и приледниковой зоны, обоснованный прогноз развития ледника, в том числе времени проявления его катастрофических пульсаций, планирование и своевременное эффективное проведение работ по их предотвращению и минимизации негативных последствий» [Бергер, 2014б].

Основываясь на изложенных выше данных о проявлении эндогенных геологических процессов, в дополнение к действующим в настоящее время системам мониторинга, предлагается создать в ледниковом цирке Колка геодинамический полигон для проведения периодических высокоточных геодезических измерений. Эти наблюдения позволят определить динамику (скорость, направление, амплитуды) современных движений земной поверхности и, главное, зафиксировать период резкой активизации перемещений в разломных зонах, что и привело к катастрофе 2002 г.

Как отмечает С.А. Несмеянов, «Локальные измерения нацелены на выяснение реального хода тектонических процессов. Поэтому режимные измерения на геодинамических полигонах непрерывны или характеризуются частым повторением. Они дают основной материал для характеристики типов и величин современных движений земной коры <...>». «Особое внимание уделяется активным разрывам,



сочленениям тектонических структур и районам эпицентров землетрясений» [Несмеянов, 2012, с. 327].

Наряду с геодезическими измерениями следует организовать мониторинг для наблюдений за обвальным процессом, поскольку резкая активизация обвалов, как в 2002, так и в 1902 гг., стала индикатором последовавших через непродолжительное время сходов высокоскоростных каменно-ледовых лавин, формирующихся в ущелье Колка. В том числе, наблюдения должны включать дистанционное зондирование Земли из космоса.

### **Выводы**

В результате дешифрирования космических снимков установлено, что долина р. Колка расположена в пределах меридиональной неотектонической структуры, ограниченной с запада и востока разрывными нарушениями.

Меридиональная структура в ледниковом цирке Колка в поперечном сечении разделяется на два самостоятельных тектонических блока: восточный и западный. Западный блок находится в зоне активного разлома и сложен тектонически ослабленными сильно трещиноватыми породами.

К западному блоку в 2002 г. был приурочен участок максимального развития масштабных обвалов льда и горных пород. На северном продолжении западного блока, на пересечении с широтным разломом, где находится тыловая часть ледника Колка, произошло газовое извержение, которое и стало решающим фактором одномоментного выброса огромной массы ледника 20 сентября 2002 г.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что масштабные обвалы и взрыв газов и пара в 2002 г. были связаны с тектонической активностью как меридионального разлома, отражением которого является зона активных обвалов в западном блоке, так и широтного нарушения, проходящего вдоль долины р. Колка.

Таким образом, можно констатировать, что неотектонические движения в той или иной мере оказывают влияние на ледник Колка и являются одной из причин быстрой разгрузки ледника с катастрофическими последствиями, связанными со сходами каменно-ледовой лавины и селевых потоков.

В этой связи, с целью получения оперативной информации о динамике перемещений в тектонических зонах, необходима организация в районе ледникового цирка Колка геодинимического полигона для проведения режимных высокоточных геодезических измерений за современными движениями земной поверхности. Также необходимо ведение мониторинга гравитационных процессов, которые являются индикатором периодов резкого возрастания неотектонической активности.

Особенности возможного влияния современных тектонических движений на сход каменно-ледовой лавины из ущелья Колка в 2002 г. дают основание для оценки роли неотектонического фактора и в других очагах зарождения подобных масштабных лавин. В первую очередь, это актуально для ледниковых цирков, имеющих схожие с Колкой геоморфологические условия.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность за помощь при работе над статьей сотрудникам филиала «Южный региональный центр государственного мониторинга состояния недр» ФГБУ «Гидроспецгеология»: И.Б. Королеву, Э.А. Светашовой, О.А. Мирошниковой.

### **Список литературы**

Арбузкин В.Н., Фельдман И.С., Трофименко Е.А. Результаты первого этапа электроразведочных работ АМТЗ и МТЗ в Геналдонском ущелье // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра. Монография / Ответственные редакторы Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили. Владикавказ: Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и РСО-А, 2014. С. 92–103.



- Барановский А.Ф., Запороженко Э.В. К вопросу о факторах схода ледника Колка в 2002 году // Гидросфера. Опасные процессы и явления. Т 5. Выпуск 1. Санкт-Петербург, 2023. С. 8–33.
- Бергер М.Г. Природная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах. Доклады международной конференции Владикавказ – Москва, 23 – 26 июня 2004 г. Владикавказ. Олимп, 2006. С. 41–56.
- Бергер М.Г. О природе катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г. // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра. Монография / Ответственные редакторы Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили. Владикавказ: Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и РСО-А, 2014а. С. 247–251.
- Бергер М.Г. О возражениях против газодинамической природы катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г. // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра. Монография / Ответственные редакторы Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили. Владикавказ: Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и РСО-А, 2014б. С. 268–270.
- Васьков И.М. Катастрофические обвалы: происхождение и прогноз. Владикавказ: ООО НПКП «МАВР», 2016. 369 с.
- Гурбанов А.Г. Результаты проведенных геологических, геофизических, геодезических и дистанционных исследований как основа разработки Программы комплексного мониторинга с отслеживанием и анализом признаков вулканической опасности в пределах Казбекского вулканического центра в Геналдонском ущелье // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра. Монография / Ответственные редакторы Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили. Владикавказ: Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и РСО-А, 2014. С. 113–114.
- Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Харебов К.С. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка (по данным локальной сети сейсмических наблюдений) // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра. Монография / Ответственные редакторы Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили. Владикавказ: Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и РСО-А, 2014. С. 141–149.
- Котляков В.М., Рототаева О.В., Носенко Г.А., Десинов Л.В., Осокин Н.И., Чернов Р.А. Кармадонская катастрофа: что случилось и чего ждать дальше / Русское географическое общество. Москва: ООО «Издательский дом «Кодекс», 2014. 184 с.
- Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника / Москва: Наука, 2004. 783 с.
- Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Оценка и прогноз динамики ледовых образований и рельефа после Геналдонской катастрофы 2002 года // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах. Доклады международной конференции Владикавказ – Москва, 23–26 июня 2004 г. Владикавказ. Олимп, 2006. С. 171–190.
- Петраков Д.А., Коваленко Н.В., Черноморец С.С., Бойко Е.С., Дробышев В.Н., Аристов К.А. Гляциологический мониторинг ледника Колка в 2002–2014 гг. // Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические процессы природного и техногенного характера на Кавказе. Доклады международной конференции 2014 г. Владикавказ. Вестник Владикавказского научного центра. Том 13. № 4. 2015 г. С. 43–50.
- Поповнин В.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. № 1. С. 56–77.
- Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Петраков Д.А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. 2005. Т. IX. № 4. С. 62–71.
- Чотчаев Х.О., Малиев И.Н. О гидродинамической и газодинамической гипотезах причин схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра. Монография / Ответственные редакторы Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили. Владикавказ: Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и РСО-А, 2014. С. 265–270.