

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



Сель как завершающий процесс в цикле экстремальных экзогенных процессов в горных ландшафтах

В.А. Караваев¹, А.С. Горбунов², А.В. Воскова³, С.А. Буланов¹, А.Н. Гуня¹,
С.С. Семиноженко⁴, М.Н. Петрушина⁵

¹Институт географии РАН, Москва, Россия, *vadimka_ig@mail.ru*

²Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

³Институт Генплана Москвы, Москва, Россия

⁴Рослесинфорг, Москва, Россия

⁵Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
Россия

Аннотация. Проводя анализ вклада различных факторов в активизацию или ослабление процессов, связанных с накоплением и перемещением обломочного материала, мы предположили, что они подчиняются цикличности и подвержены комплексному воздействию нескольких факторов. Схема цикла: после схода крупных селей в горном ландшафте в результате обвально-осыпных, русловых процессов, сходов лавин начинает накапливаться обломочный материал. В качестве отправной точки был выбран именно сход крупного селя, поскольку он является наиболее комплексным процессом, по отношению к которому другие выступают как подготовительные. Основные факторы: осадки, температура воздуха, сейсмичность, морозное выветривание, свойства горных пород – микроморфология и химический состав обломочного материала – влияющие на его вовлечение в экзогенные процессы. Новизной является совместное рассмотрение этих факторов. Цикл экзогенных процессов, в ходе которого одни обуславливают другие, способен длиться в течение ряда лет. После накопления критической массы обломочного материала для схода селя и завершения цикла достаточно даже слабого воздействия одного из факторов или сложения воздействий нескольких факторов.

На исследуемой территории, расположенной в горах Центрального Кавказа – в долинах рек Карасу, Черек Балкарский и их притоков – крупные сели сошли летом 2012 г., а после – в июле 2017 г. Цикл экстремальных процессов, таким образом, продлился 5 лет. Предпосылками завершения как этого, так и предыдущего циклов послужило совместное воздействие нескольких факторов, причем, в значительной степени, не непосредственное, а заблаговременное. Расчеты показывают, что наиболее вероятным «спусковым механизмом» в обоих случаях послужили слабые трехбалльные землетрясения.

Ключевые слова: цикл, сель, экзогенные процессы, факторы, совместное воздействие, Центральный Кавказ

Ссылка для цитирования: Караваев В.А., Горбунов А.С., Воскова А.В., Буланов С.А., Гуня А.Н., Семиноженко С.С., Петрушина М.Н. Сель как завершающий процесс в цикле экстремальных экзогенных процессов в горных ландшафтах. 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. 226–231.

Debris flow as the final process in the cycle of extreme exogenous processes in mountain landscapes

V.A. Karavaev¹, A.S. Gorbunov², A.V. Voskova³, S.A. Bulanov¹, A.N. Gunya¹,
S.S. Seminozhenko⁴, M.N. Petrushina⁵

¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
vadimka_ig@mail.ru

²Voronezh State University, Voronezh, Russia

³Moscow General Planning Research and Project Institute, Moscow, Russia



⁴*Roslesinforg, Moscow, Russia*

⁵*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

Abstract. By analyzing the contribution of various factors to the activation or weakening of processes associated with the accumulation and movement of debris, we assumed that they are subject to cyclicality and are subject to the complex influence of several factors.

Scheme of the cycle: after large debris flows in the mountain landscape, as a result of landslide-talus, channel processes, and avalanches, debris material begins to accumulate. It was the collapse of a large debris flow that was chosen as the starting point, since it is the most complex process, in relation to which others act as preparatory ones. The main factors: precipitation, air temperature, seismicity, frost weathering, rock properties – micromorphology and chemical composition of clastic material – influencing its involvement in exogenous processes. The novelty is the joint consideration of these factors. The cycle of exogenous processes, during which some cause others, can last for a number of years. After the accumulation of a critical mass of clastic material, even a weak impact of one of the factors or the addition of the effects of several factors is sufficient for the debris flow to flow and complete the cycle.

In the study area, located in the mountains of the Central Caucasus – in the valleys of the Karasu, Cherek Balkarsky rivers and their tributaries – large debris flows occurred in the summer of 2012, and then in July 2017. The cycle of extreme processes thus lasted 5 years. The prerequisites for the completion of both this and the previous cycle were the combined influence of several factors, and, to a large extent, not immediate, but in advance. Calculations show that the most likely “trigger mechanism” in both cases was weak 3-magnitude earthquakes.

Key words: *cycle, debris flow, exogenous processes, factors, joint impact, Central Caucasus*

Cite this article: Karavaev V.A., Gorbunov A.S., Voskova A.V., Bulanov S.A., Gunya A.N., Seminozhenko S.S., Petrushina M.N. Debris flow as the final process in the cycle of extreme exogenous processes in mountain landscapes. In: Chernomoretz S.S., Hu K., Viskhadzhiya K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 226–231.

Введение

С 2009 г. с целью изучения специфики экзогенных процессов Центрального Кавказа нами проводились исследования на репрезентативной для всего региона территории – в бассейне верховьев р. Черка Балкарского, выше села Верхняя Балкария, и бассейнах его истоков – Карасу и Дыхсу – и притоков (рис. 1). Были выявлены ключевые участки, где разнообразные экзогенные процессы – обвалы, осыпи, оползни и т.д. – проявляются наиболее ярко: селе-лавиновых комплексов Тютюн-Су (в среднем течении р. Черка Балкарского), Метиан-Суу (в верховьях р. Черка Балкарского), Ортозюрек и Ахсу (в верховьях р. Карасу) и безымянного ручья в среднем течении р. Лъкези, оползень в среднем течении р. Карасу, очаги развития обвально-осыпных процессов в среднем течении р. Лъкези и на приледниковых участках около ледников Штулу Западный и Штулу Восточный, осыпь в верховьях р. Черка Балкарского. Мы составили карту-схему ландшафтных местностей и участков интенсивного проявления экзогенных процессов (рис. 2). Особое место в их ряду заняли сели в силу своей комплексности как по разнообразию факторов формирования и разнородности природных компонентов, которые они изменяют, так и по длительности подготовительного периода, и тяжести последствий⁴.

⁴ Так, 12.05.2008 на юго-западе Китая произошло Вэньчуаньское землетрясение магнитудой 7,9–8,0, само по себе принесшее многочисленные жертвы и большие разрушения. Однако другие масштабные его последствия были отсрочены на два года – 08.08.2010 после обильных ливневых дождей в провинции Ганьсу сошли крупные сели с участием подготовленного землетрясением обломочного материала [Horton et al., 2019; Tang et al., 2018; Pasquale et al., 2022].

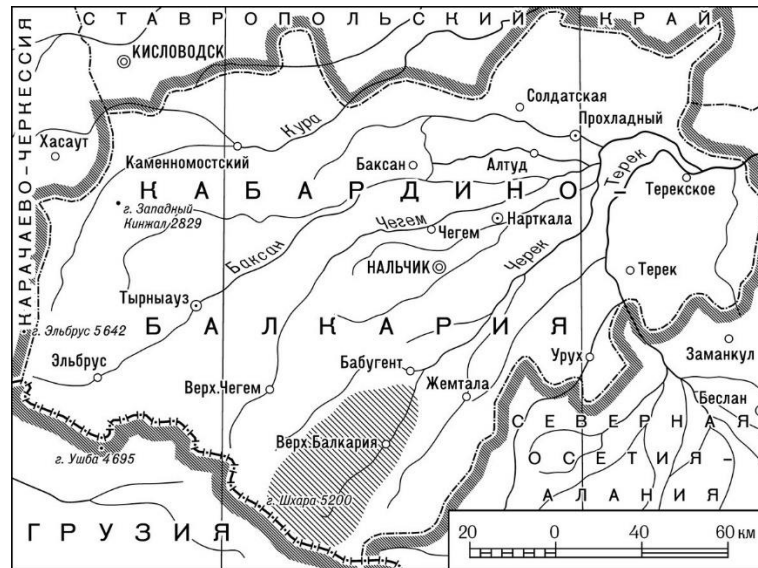


Рис. 1. Территория исследования

Со временем нами была отмечена тенденция в периодичности сходов селей на территории исследования, когда они не соответствовали традиционному представлению об их непосредственном следовании обильным осадкам и (или) бурному таянию снежников и ледников в высокогорье. В итоге возникла гипотеза о том, что экстремальные экзогенные процессы, связанные с накоплением и перемещением обломочного материала, образуют цикл.

Схема цикла видится так: после схода крупных селей в горном ландшафте в результате обвально-осыпных, русловых процессов, сходов лавин начинает накапливаться обломочный материал. По достижении критической массы, даже при слабом воздействии любого из факторов происходит следующий сход.

Мы предполагаем, что опасные (экстремальные) экзогенные процессы, связанные с накоплением и перемещением обломочного материала – обвально-осыпные процессы и сели – образуют цикл. Схема цикла: после схода крупных селей в горном ландшафте в результате обвально-осыпных, русловых процессов, сходов лавин начинает накапливаться обломочный материал. По достижении критической массы, даже при слабом воздействии любого из факторов, случается следующий сход. Основные факторы формирования цикла: осадки, температура воздуха, сейсмичность, морозное выветривание, морфометрические показатели рельефа, состав обломочного материала и его морфологические особенности.

Новизной подхода является совместный анализ различных факторов, который позволил выявлять «кумулятивный эффект», при котором складываются даже слабые их проявления, способные вызвать финальный сход селя, завершающий цикл. Стабильному его течению способствует соответствие средним многолетним трендам как абсолютных показателей факторов, меняющихся во времени – температуры воздуха, осадков, морозного выветривания, сейсмичности, – так и их временного хода – суточного, недельного, месячного и т.д.

В исследуемом районе, как показали наблюдения, цикл составляет 3–7 лет.

Проблема исследования, которая освещается в статье, заключается в выявлении фактора или факторов, которые определили сход селя и, соответственно, – завершение очередного цикла экстремальных экзогенных процессов.

Методика предполагает совместный анализ главных факторов формирования экзогенных процессов. Для удобства анализа графики факторов, изменяющихся со временем, помещены друг над другом в едином масштабе. Они отображают температуру воздуха, осадки, землетрясения и морозное выветривание, отраженное в количестве переходов температуры воздуха через точку замерзания – ноль градусов по Цельсию,



что способствует разрушению горных пород. Чтобы избежать перегрузки статьи иллюстрациями, здесь приведены совмещенные графики за период 2016...2021 гг. (рис. 3).

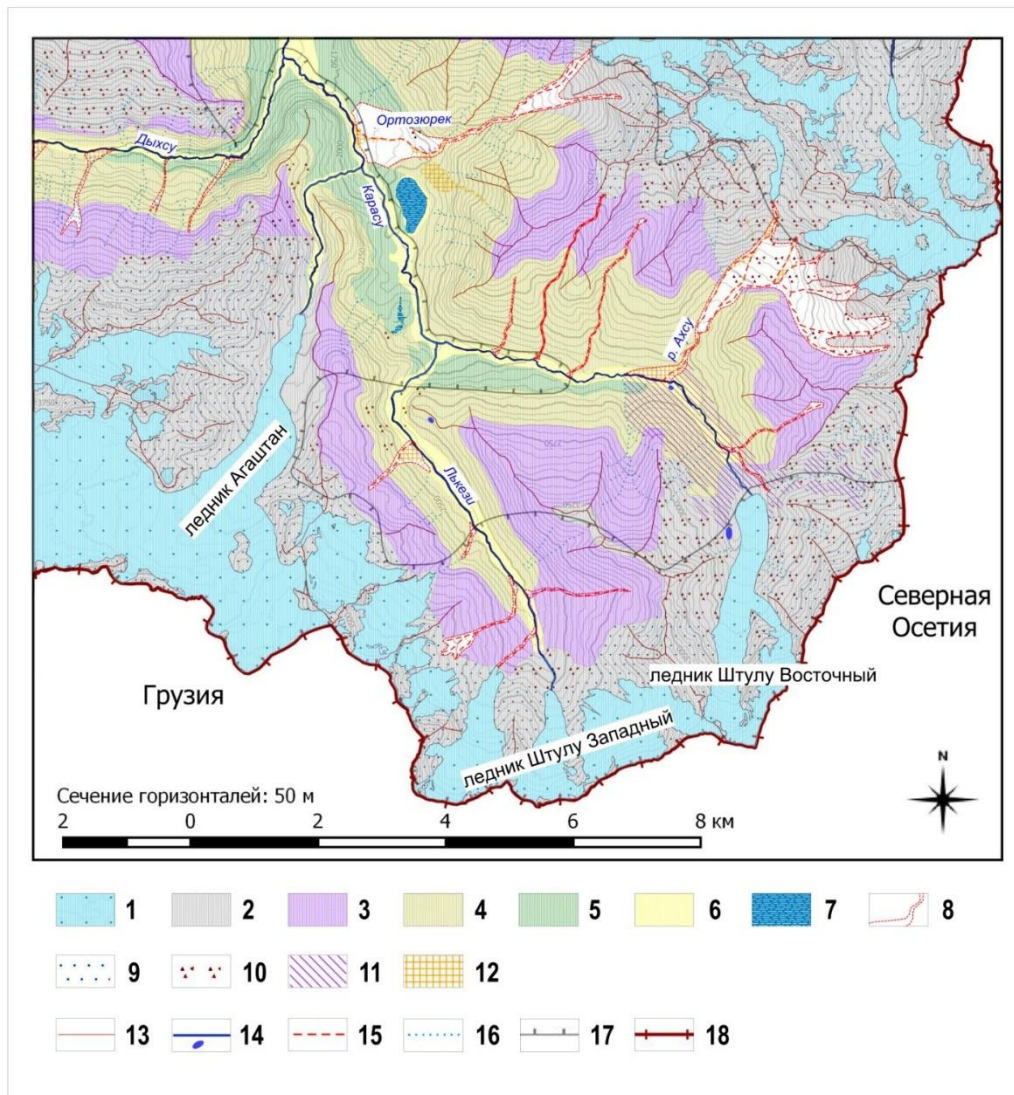


Рис. 2. Ландшафтные местности и участки интенсивного проявления экзогенных процессов [Караваев и др., 2020]. Типы ландшафтных местностей: 1 – нивальные, 2 – субнивальные, 3 – альпийские, 4 – субальпийские, 5 – горно-лесные, 6 – речных долин, 7 – болотные, 8 – селевые и селево-лавиновые. Участки интенсивного проявления экзогенных процессов: 9 – нивально-гравитационных, 10 – гравитационных, 11 – оползневых, 12 – пролювиальных. Линии развития экзогенных процессов: 13 – гребни горных хребтов, 14 – водные объекты, 15 – селевые русла, 16 – лавинные лотки. Границы: 17 – Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника, 18 – исследуемой территории.

Данные и анализ

С первых лет изучения территории – с 2008 г. по июль 2012 г., когда завершился первый из отмеченных нами циклов экстремальных экзогенных процессов, в долинах р. Черка Балкарского, его истоков и притоков, произошло 14 землетрясений силой от 3,1 до 6,6 баллов⁵. Однако «спусковым механизмом» послужило землетрясение в 3,1 балла –

⁵ <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (дата обращения 21.12.2021)



температура воздуха следовала многолетнему тренду, а осадки сильно отставали от него. Во время следующего цикла было отмечено также 14 землетрясений, силой от 3 до 4,8 баллов (см. рис. 3г). Серия крупных селей сошла в исследуемом районе в июле 2017 г., что мы принимаем за окончание очередного цикла. Заметим, что осадки в этом месяце были скудными по местным июльским меркам – всего 67 мм, что больше, чем на 20 мм отстает от нормы (см. рис. 3б).

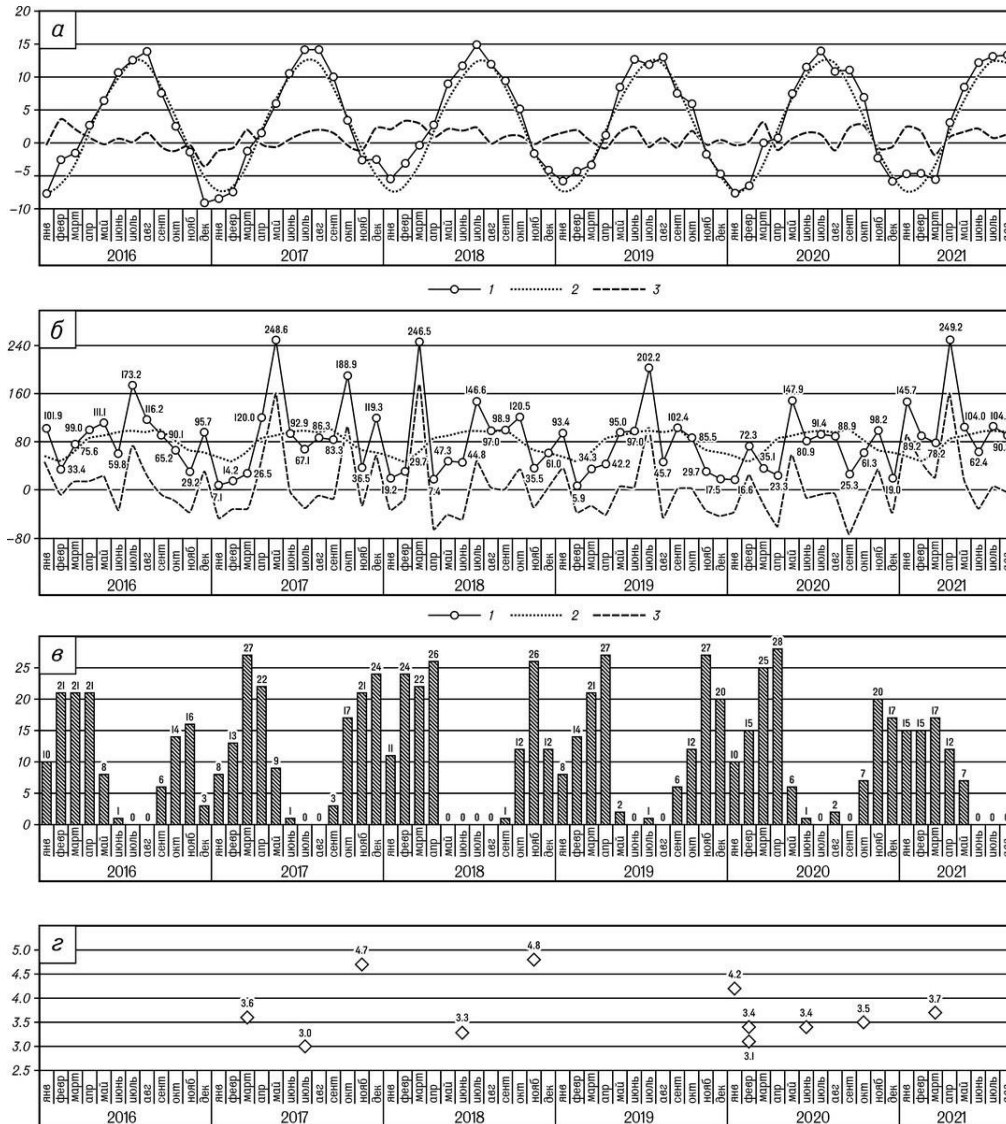


Рис. 3. Факторы формирования экстремальных экзогенных процессов в 2016–21 гг. [Караваяев и др., 2022]: а – температура воздуха, °С, б – осадки, мм, в – количество дней с переходами температуры воздуха через 0 °С, г – землетрясения, интенсивность в баллах; 1 – среднемесячные значения за год, 2 – среднемесячные значения за 1951–2013 гг., 3 – отклонения среднемесячных значений за год (1) от среднемесячных значений за 1951–2013 гг. (2)

С морозным выветриванием ситуация была стандартной – в июне наблюдался один переход температуры воздуха через точку замерзания воды, в июле – ни одного. Наиболее активным морозное выветривание было в марте – 27 переходов и апреле – 22 перехода, что соответствовало многолетнему тренду (см. рис. 3в).

Превышение среднемесячной температуры воздуха над средней многолетней температурой июля в этих местах было невелико – около 2°. Однако, это усилило таяние ледников в высокогорье, увеличив приток воды в селеопасные русла (см. рис. 3а). Вместе с тем, главную роль в завершении цикла, как и пятью годами ранее, сыграло также слабое



трехбалльное землетрясение (см. рис. 3г). Такой вывод нам позволяет делать ситуация с осадками. По графикам видно, что их максимальные годовые значения приходятся на разные весенние и летние месяцы. Кроме того, в отличие от температуры воздуха, ход которой стабилен и предсказуем, наибольшие значения осадков сильно отличаются друг от друга (см. рис. 3а, б). Так, в 2016 г. максимум пришелся на июль и составил 173 мм, в 2018 г. – на март – 247 мм, в 2019 г. – на июль – 202 мм, в 2020 г. – на май – 148 мм и в 2021 г. – на апрель – 249 мм. Исходя из этого, именно обильные осадки, выпавшие за короткое время, могут спровоцировать сходы селей и завершить цикл. В 2017 г. наибольшее их значение было отмечено в мае и составило максимальную для рассматриваемых 6 лет, как и в 2021 г., величину – 249 мм. Причем максимум, в отличие от других лет, случился в месяце, когда грунт оттаял. Тем не менее, несмотря на уже накопленный обломочный материал, сходов крупных селей не произошло. Они случились в июле после упомянутого землетрясения. Так, один из самых крупных селей сошел по реке Метиан-Суу, долина которой является одним из ключевых объектов мониторинга экзогенных процессов, размыл автомобильную дорогу и разрушил мост. Река в нижнем течении пробилла новое русло.

Выводы

В июле 2012 г. и июле 2017 г., когда сошли крупные сели, завершив, таким образом, на исследуемой территории очередные циклы экстремальных экзогенных процессов, «спусковым механизмом» в обоих случаях послужили слабые трехбалльные землетрясения и, во втором случае в значительно меньшей степени, – небольшое превышение температуры воздуха, вызвавшее таяние ледников в высокогорье.

Список литературы

- Караваев В.А., Горбунов А.С., Семиноженко С.С. Роль слабых землетрясений в цикле экстремальных экзогенных процессов в горах Центрального Кавказа // Геология и геофизика Юга России. 2022. Т. 12. № 4. С. 6–18.
- Караваев В.А., Федин А.В., Семиноженко С.С. Новый цикл опасных процессов в высокогорье Центрального Кавказа // Жизнь Земли, 2020. Т. 42. № 2. С. 136–142.
- Horton A.J., Halesa T.C., Ouyang C., Xuanmei F. Identifying post-earthquake debris flow hazard using Massflow // Engineering Geology, vol. 258, 14 August 2019, 105134.
- Pasquale M., Srikrishnan S. S., Xuanmei F., Greco R. Changes in debris-flow susceptibility after the Wenchuan earthquake revealed by meteorological and hydro-meteorological thresholds // Catena, vol. 210, March 2022, 105929.
- Tang C., van Vesten C.J. 2018. Atlas of Wenchuan-Earthquake Geohazards. Science Press, Beijing, 96 p.