

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.435.6 (470.64)

DOI: [10.46698/VNC.2022.19.24.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.19.24.001)

Оригинальная статья

Роль слабых землетрясений в цикле экстремальных экзогенных процессов в горах Центрального Кавказа

В. А. Караваев¹, А. С. Горбунов², С. С. Семиноженко³

¹Институт географии РАН, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 24, стр. 4, e-mail: karavaev@igras.ru;

²Рослесинфорг, Россия, 109316, г. Москва, Волгоградский пр-т, 45, стр. 1, e-mail: grey_wolf.88@mail.ru;

³Воронежский государственный университет, Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1, e-mail: gorbunov.ol@mail.ru

Статья поступила: 17.10.2022, доработана: 15.11.2022, одобрена в печать: 21.11.2022

Резюме: Актуальность работы. Изучение влияния тектоники и сейсмичности на функционирование горных ландшафтов видится очень перспективным и актуальным. Например, поиск связи глубинных источников тектонических напряжений друг с другом и их возможного влияния на приповерхностную геодинамику и сейсмический режим, которые могут стать основой геоэкологического районирования. **Цель предлагаемого исследования** – выявить особенности воздействия слабых землетрясений на течение экзогенных процессов в горах Центрального Кавказа. Мы предполагаем, что процессы, которые связаны с накоплением и передвижением обломочного материала – обвально-осыпные и сели, подчиняются цикличности и подвержены комплексному влиянию ряда факторов, как изменяющихся со временем, так и постоянных – температуры воздуха, осадков, морозного выветривания, морфометрических показателей рельефа, сейсмичности и свойств горных пород, среди которых землетрясения являются одним из ведущих. Новизна заключается в их совместном анализе. Цикл развития экстремальных экзогенных процессов (далее – ЭЭП), в ходе которого одни обуславливают другие, способен длиться в течение ряда лет. Авторы изучают ЭЭП в бассейне р. Черема Балкарского, начиная с 2009 г., где их цикл составляет от 3 до 6 лет. Одновременная активность нескольких факторов, причём, в значительной степени, не непосредственная, а заблаговременная, предопределила завершение предыдущего цикла ЭЭП летом 2017 г. **Методы работы** базировались на расчётах интенсивности землетрясений на поверхности в районе исследования, исходя из их силы в различных эпицентрах и глубины последних и принимая во внимание региональные константы. **Результаты работы.** Выявлено, что помимо подготовительной роли, в цикле ЭЭП слабые землетрясения могут выполнять функцию «спускового механизма» для крупных селей. Так, в июле 2012 г. и июле 2017 г., когда сходы подобных селей завершили на исследуемой территории очередные циклы экстремальных экзогенных процессов, «спусковым механизмом» в обоих случаях послужили слабые 3-хбальные землетрясения и, во втором случае в значительно меньшей степени, – небольшое превышение температуры воздуха, усилившее таяние ледников в высокогорье.

Ключевые слова: факторы формирования, землетрясения, цикл, экстремальные экзогенные процессы, горный ландшафт, обломочный материал, Центральный Кавказ.

Благодарности: Исследование проведено в Институте географии РАН по государственному заданию Института АААА-А19-119021990091-4 (FMGE-2019-0005). Авторы благодарны сотрудникам Кабардино-Балкарского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (директор – Е. М. Богаченко) за предоставленные метеорологические данные.

Для цитирования: 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. 12 (4): 6-18. DOI: [10.46698/VNC.2022.19.24.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.19.24.001).

DOI: [10.46698/VNC.2022.19.24.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.19.24.001)

Original paper

Role of weak earthquakes in the cycle of extreme exogenous processes in the mountains of the Central Caucasus

V. A. Karavaev¹, A. S. Gorbunov², S. S. Seminozhenko³

¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 29, build. 4 Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russian Federation, e-mail: karavaev@igras.ru;

²Roslesinforg, 45, build. 1 Volgogradsky avenue, Moscow 109316, Russian Federation, e-mail: grey_wolf.88@mail.ru;

³Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation, e-mail: gorbunov.ol@mail.ru

Received: 17.10.2022, revised: 15.11.2022, accepted: 21.11.2022

Abstract: Relevance. The study of the influence of tectonics and seismicity on the functioning of mountain landscapes seems to be very promising and relevant. For example, the search for a connection between deep sources of tectonic stresses and their possible impact on near-surface geodynamics and seismic regime, which can become the basis of geoecological zoning. **The aim of the proposed study** is to reveal the features of the impact of weak earthquakes on the course of exogenous processes in the mountains of the Central Caucasus. The article assumes that the processes associated with the accumulation and movement of clastic material – landslide-scrree and debris flows, have a cyclical nature and are subject to the complex effect of several factors that change over time – air temperature, precipitation, frost weathering and seismicity, among which earthquakes are one of leading. The novelty is their joint consideration. The cycle of development of extreme exogenous processes (hereinafter – EEP), during which some cause others, can last for a number of years. In the Cherek-Balkarsky river basin, where the authors have been conducting research since 2009, it is from 3 to 6 years. The prerequisite for the completion of the previous EEP cycle in the summer of 2017 was the joint activity of several factors, and, to a large extent, not immediately, but in advance. **The methods of work** were based on calculations of the intensity of earthquakes on the surface in the study area, based on their strength at various epicenters and the depth of the latter, and taking into account regional constants. **Results.** It was revealed that in addition to the preparatory role, weak earthquakes in the EEP cycle can act as a “trigger” for large debris flows. So, in July 2012 and July 2017, when similar debris flows completed the next cycles of extreme exogenous processes in the study area, weak 3-magnitude earthquakes served as a “trigger” in both cases and, in the second case, to a much lesser extent, – a slight increase in air temperature, which increased the melting of glaciers in the highlands. Key words: formation factors, earthquakes, cycle, extreme exogenous processes, mountain landscape, clastic material, Central Caucasus.

Keywords: formation factors, earthquakes, cycle, extreme exogenous processes, mountain landscape, debris, Central Caucasus.

Acknowledgments: *The study was carried out at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences in accordance with the state task of the Institute AAAA-A19-119021990091-4 (FMGE-2019-0005). The authors thank the Kabardino-Balkarian Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Director E. M. Bogachenko) for providing meteorological data.*

For citation: Karavaev V. A., Gorbunov A. S., Seminozhenko S. S. Role of weak earthquakes in the cycle of extreme exogenous processes in the mountains of the Central Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12 (4): 6-18. DOI: 10.46698/VNC.2022.19.24.001.

Введение

Изучение влияния тектоники и сейсмичности на функционирование горных ландшафтов видится очень перспективным и актуальным. Например, поиск связи глубинных источников тектонических напряжений друг с другом и их возможного влияния на приповерхностную геодинамику и сейсмический режим, которые могут стать основой геоэкологического районирования [Стогний и др., 2022; Scholz, 2019].

Роль землетрясений в активизации экзогенных процессов¹ традиционно является предметом исследований – спровоцированные сейсмическими событиями оползни, обвалы, сели и лавины имеют часто большую разрушительную силу [Куровская и др., 2020; Махинов, 2020]. Так, 12 мая 2008 г. на юго-западе Китая произошло Вэньчуаньское землетрясение магнитудой 7,9...8, само по себе принесшее многочисленные жертвы и большие разрушения. Однако другие масштабные его последствия были отсрочены на два года – 8 августа 2010 г. после обильных ливневых дождей в провинции Ганьсу сошли крупные сели с участием подготовленного землетрясением обломочного материала [Horton et al., 2019; Tangetal., 2018; Pasquale et al., 2022].

Как видим, речь идёт выше о сейсмических событиях большой силы, всегда ведущих к началу экзогенных процессов или их усилению. В предлагаемом исследовании мы уделяем первостепенное внимание, прежде всего, слабым и средней силы землетрясениям, которые случаются гораздо чаще, с отсрочкой эффекта и которые действуют совместно с другими факторами, повышающими активность селей, лавин, осыпей, быстрых оползней, обвалов и камнепадов.

Для выявления специфики экзогенных процессов Центрального Кавказа мы, начиная с 2009 г., проводим исследования на территории, репрезентативной для всего региона – в бассейне р. Черёка Балкарского, в верхнем его течении, и бассейнах его истоков – Карасу и Дыхсу (рис. 1).

Территория исследований входит в сейсмически активную южную часть Европейской России – полосу шириной 200...300 км вдоль государственной границы, где возможны землетрясения интенсивностью до 10 баллов (по 12-балльной шкале интенсивности землетрясений Медведева – Шпонхойера – Карника – MSK-64) [Уломов, 2008]. Анализируя описания ощущений от землетрясений различной силы и оценив перемещение обломочного материала в результате их действия, мы решили, что минимальным значением, которое следует учитывать в нашей работе, является 3 балла по шкале MSK-64, характеризующееся как «сотрясение поверхности от проезжающего рядом грузовика».

Постановка задачи: цикл экстремальных экзогенных процессов на территории исследования

В горных условиях образуются особые типы геосистем, которые обязаны своим происхождением экзогенным процессам – селевым, лавинным, обвальным-осыпным и т. д. Выявление и изучение подобных комплексов представляет как теоретическую, так и очевидную прикладную ценность. Для этого на территории

¹ Под активностью понимается частота и интенсивность проявления процесса в единицу времени. Термин «экстремальные» в отношении изучаемых процессов подчёркивает их большую силу, намного превышающую фоновые проявления процессов и быстродействие, которое не даёт местным геосистемам времени для адаптации.

исследования, которая включает в себя среднегорные и высокогорные участки, с 2009 г. регулярно обследуется 10 ключевых, наиболее показательных, очагов развития разнородных экстремальных экзогенных процессов: селево-лавиновых комплексов Метиан-Суу (в верховьях р. Черка Балкарского), Тютюн-Су (в среднем его течении), Ахсу и Ортозюрек (притоки р. Карасу в верхнем её течении), безымянного ручья в долине р. Лъкези, оползень в долине р. Карасу, очаги активности обвально-осыпных процессов в долине р. Лъкези и на участках вблизи ледников Штулу Западный и Штулу Восточный, а также осыпь в верхнем течении р. Черка Балкарского (рис. 2).

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, приводящие к формированию цикла: осадки, температура воздуха, сейсмичность, морозное выветривание, морфометрические показатели рельефа, состав обломочного материала и его морфологические особенности. Учет последнего фактора предполагает выявление свойств грунтов, вызывающих их ответные реакции на воздействия других факторов. В свете поставленной в статье задачи – землетрясений: оценка нелинейных свойств грунтов, которые проявляются при сейсмических воздействиях [Заалишвили и др., 2021].

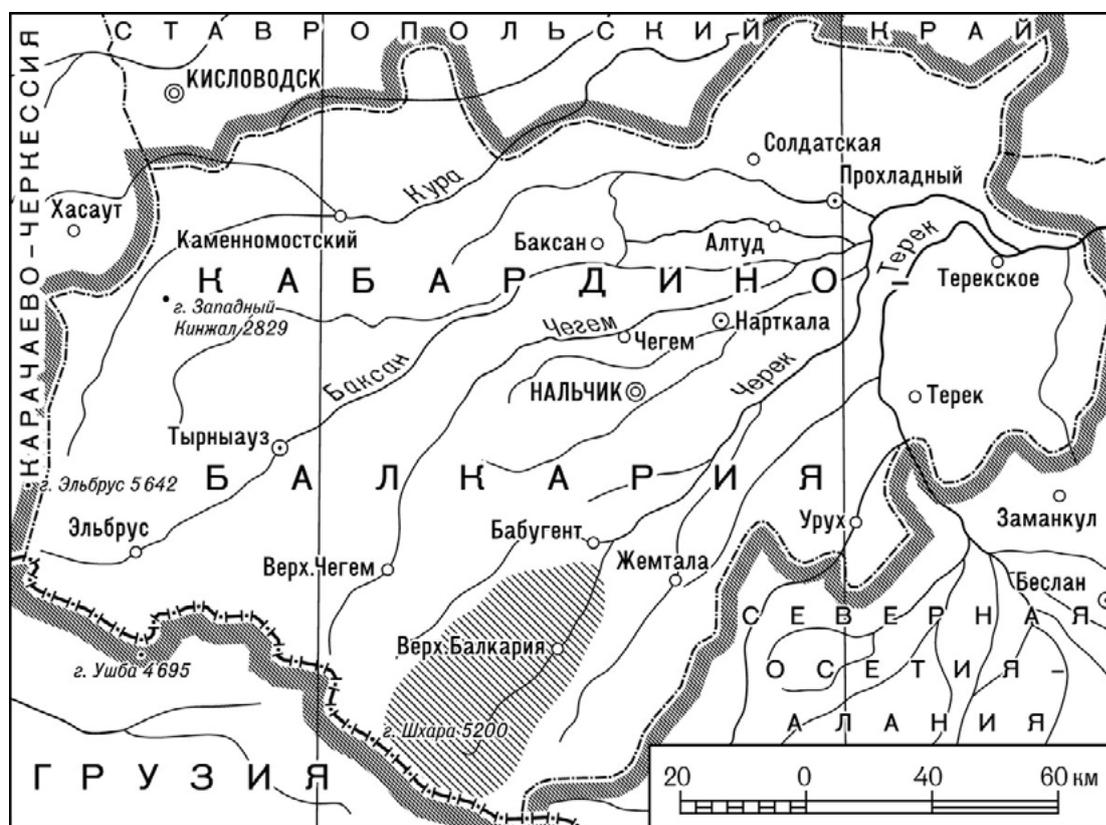


Рис. 1. Территория исследования /
Fig. 1. Study area

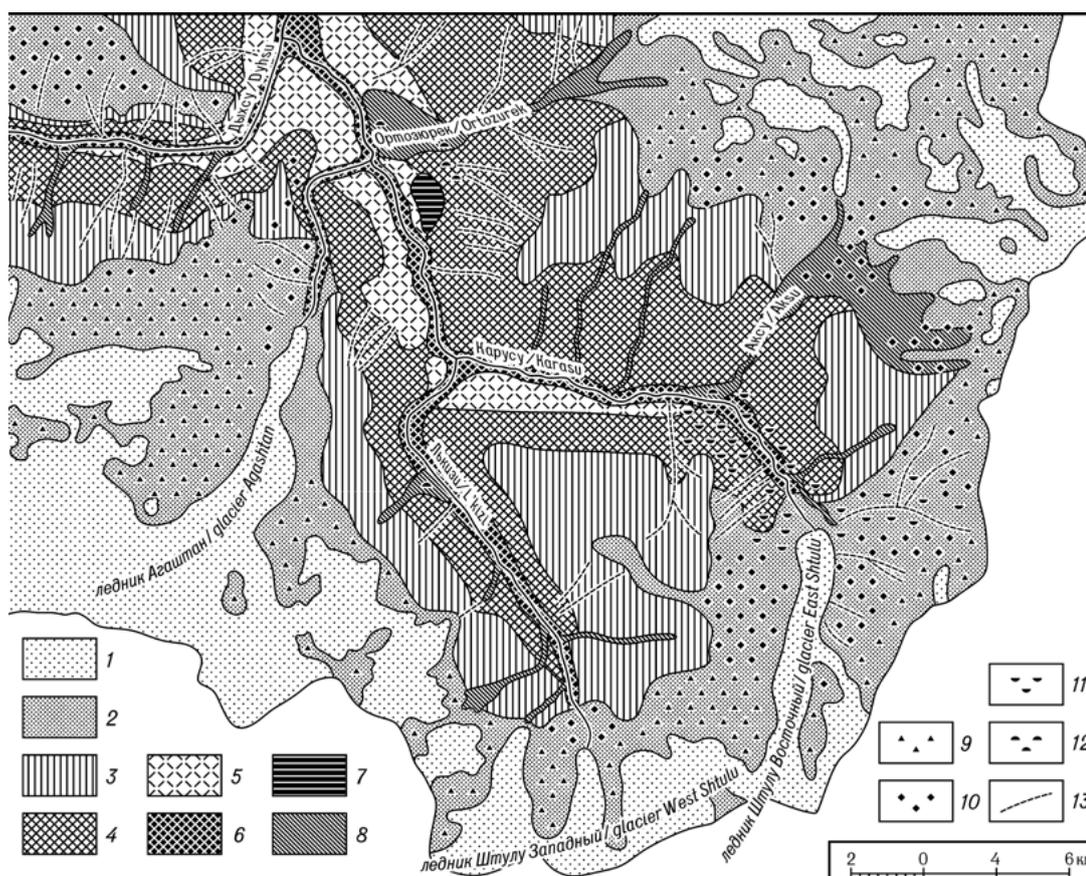


Рис. 2. Ландшафтные местности и участки интенсивного проявления экзогенных процессов [Караваяев и др., 2020; с изменениями]. Типы ландшафтных местностей: 1 – нивальные, 2 – субнивные, 3 – альпийские, 4 – субальпийские, 5 – горно-лесные, 6 – речных долин, 7 – болотные, 8 – селевые и селево-лавиновые. Участки интенсивного проявления экзогенных процессов: 9 – нивально-гравитационных, 10 – гравитационных, 11 – оползневых, 12 – пролювиальных; Линии развития экзогенных процессов: 13 – лавинные лотки /

Fig. 2. Landscape areas and areas of intense manifestation of exogenous processes [Karavaev et al., 2020; with changes]. Types of landscape areas: 1 – nival, 2 – subnival, 3 – alpine, 4 – subalpine, 5 – mountain-forest, 6 – river valleys, 7 – marsh, 8 – mudflow and mudflow-avalanche. Areas of intensive manifestation of exogenous processes: 9 – nival-gravitational, 10 – gravitational, 11 – landslide, 12 – proluvial; Lines of development of exogenous processes: 13 – avalanche flumes.

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...6 лет.

Методика исследования

На начальном этапе исследования влияния землетрясений необходимо было определить начальную точку отсчёта – минимальную силу сейсмического события, которую мы принимаем во внимание. Анализируя описания ощущений от земле-

трясений различной силы и оценив перемещение обломочного материала в результате их действия, мы решили, что минимальным значением, которое следует учитывать в нашей работе, является 3 балла по шкале MSK–64, характеризующее как «сотрясение поверхности от проезжающего рядом грузовика».

Далее предстояло выбрать базу данных, откуда предстояло черпать данные о землетрясениях. Первоначально для расчёта воздействия землетрясений на исследуемую территорию мы одновременно пользовались данными из двух источников – Единой геофизической службы РАН (<http://www.seme.gsras.ru/new/catalog>) и Северо-Калифорнийского центра учёта землетрясений (Northern California Earthquake Data Center) (<https://www.ncedc.org/>). Данные различаются – американская станция регистрирует большее количество событий. Магнитуда совпадающих по времени обеих станций землетрясений по американским данным, как правило, выше, а эпицентры расположены глубже. Тем не менее, подобные расхождения практически не влияют на цикл экзогенных процессов в бассейне Черёка Балкарского. Учитывая это, а также большую трудоёмкость подобного подхода, впоследствии мы отказались от него и выбрали за источник информации каталог Геологической службы США (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>).

Расчёт проводился по формуле:

$$I = 2.2 + 1.6 \cdot M - 3.1\sqrt{R^2 + h^2},$$

где I – интенсивность землетрясения, в баллах; M – магнитуда; R – расстояние от эпицентра в км; h – глубина эпицентра, км; 2,2, 1,6, 3,1 – региональные константы [Инженерное..., 1998].

Результаты расчётов были сведены в таблицу, где указывалось географическое положение эпицентра, его координаты, глубина, магнитуда и сила толчков на территории исследования (табл. 1).

Помимо таблицы, на основе полученных данных была построена карта-схема, которая позволяет географически представить картину воздействия землетрясений в различных, порой сильно удалённых эпицентрах, на исследуемый район, а также выявить наиболее активно влияющие на него эпицентры.

Результаты работы и их обсуждение: землетрясения на территории исследования

На территории исследования сказываются землетрясения, эпицентры которых расположены в различных местах, порой находящихся на большом удалении от неё, как например, в Эгейском море, севернее острова Самос (рис. 3а) [LentasK. Etal., 2022]. Самая многочисленная периодически активная группа – 8 событий в разные годы – была выявлена в районе Рачинского хребта, недалеко от Кутаиси. Три землетрясения были зафиксированы вблизи юго-восточной части Главного Кавказского, по 2 – севернее Бзыбского хребтов, юго-западнее г. Эльбруса (рис. 3б) [Габсатарова и др., 2019] и в северо-западной части Загроса (рис. 5г) [Рогожин и др., 2018]. В некоторых эпицентрах серии сейсмических событий происходили в один день – 3 случились в восточной части озера Ван и около неё (рис. 3в) [Аптикаева, 2019; Elliottetal., 2013], по 2 – южнее Карадага (см. рис. 3г) [Етирмишли др., 2018] и восточнее Курдистанского хребта (см. рис. 3в), а также в Черном море, северо-западнее Поти (см. рис. 3б). В остальных местах были отмечены единичные землетрясения, отголоски которых докатились до долины р. Карасу² (табл. 1).

² <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (дата обращения 21.12.2021)

Таблица 1 / Table 1

**Землетрясения на территории исследования с 2010 г. по 2021 г. /
Earthquakes in the study area from 2010 to 2021**

№	Географическое положение эпицентра / Geographic position epicenter	Координаты эпицентра / Epicenter coordinates		Дата / Data	Глубина (h), км / Depth (h), km	Магнитуда (M) / Magnitude (M)	Интенсивность (J), баллы / Intensity (J), points
		Широта / Latitude	Долгота / Longitude				
1	Эгейское море (о. Самос) / Aegean Sea (Samos Island)	37°53'50.28"	26°47'01.68"	30.10.20	21	7,0	3,55
2 ¹	Бухта Бодрум / Bodrumbay	36°55'45.48"	27°24'50.04"	20.07.17	7	6,6	2,90
3	Отроги Армянского Тавра / Spurs of the Armenian Taurus	38°25'52.32"	39°03'39.24"	24.01.20	10	6,7	4,27
4	Отроги Армянского Тавра / Spurs of the Armenian Taurus	38°51'50.40"	39°59'09.60"	08.03.10	12	6,1	3,50
5	Внутренний Тавр / Inner Taurus	39°25'22.44"	40°42'26.28"	14.06.20	10	5,9	3,55
6	Акватория оз. Ван / The water area of the lake Van	38°38'02.40"	43°04'37.20"	21.10.11	5	5,9	3,33
7	Акватория оз. Ван / The water area of the lake Van	38°48'32.40"	43°17'60.00"	23.10.11	5	5,7	3,07
8	Акватория оз. Ван / The water area of the lake Van	38°43'15.60"	43°30'28.80"	23.10.11	18	7,1	5,27
9	Курдистанский хребет / Kurdistan Range	38°29'44.88"	44°22'23.52"	23.02.20	10	6,0	3,42
10	Курдистанский хребет / Kurdistan Range	38°26'47.40"	44°25'00.48"	23.02.20	10	5,8	3,09
11	Северо-Западный Загрос / Northwestern Zagros	34°54'39.24"	45°57'33.12"	12.11.17	19	7,3	4,69
12	Северо-Западный Загрос / Northwestern Zagros	34°21'39.24"	45°44'39.48"	25.11.18	18	6,3	3,01
13	Карадаг / Karadag	38°23'20.40"	46°44'42.00"	11.08.12	12	6,2	3,54
14	Карадаг / Karadag	38°19'44.40"	46°49'33.60"	11.08.12	11	6,4	3,84
15	Скалистый хребет / Rocky ridge	41°32'56.40"	46°47'20.40"	14.10.12	10	5,5	3,39
16	Самурский хребет / Samur Range	41°32'56.40"	46°47'20.40"	07.05.12	11	5,6	3,37
17	Большой Кавказ / Greater Caucasus	42°08'46.32"	45°48'42.12"	17.09.13	5	5,3	3,39
18	Район Рачинского хребта / The area of the Rachinsky ridge	42°31'48.00"	44°08'38.40"	20.07.12	10	4,3	3,12
19	Район Рачинского хребта / The area of the Rachinsky ridge	42°25'24.96"	43°37'06.96"	13.03.18	12.5	4,4	3,60
20	Район Рачинского хребта / The area of the Rachinsky ridge	42°31'58.80"	43°35'46.68"	06.11.18	10	5,0	4,83

21	<i>Район Рачинского хребта</i> <i>/ The area of the Rachinsky ridge</i>	42°33'39.60"	43°26'9.60"	12.04.10	10	4,1	3,58
22	<i>Район Рачинского хребта</i> <i>/ The area of the Rachinsky ridge</i>	42°34'49.44"	43°23'10.68"	13.03.21	10	4,1	3,67
23	<i>Район Рачинского хребта</i> <i>/ The area of the Rachinsky ridge</i>	42°22'44.04"	43°01'30.72"	18.11.15	3,5	4,1	3,07
24	<i>Район Рачинского хребта</i> <i>/ The area of the Rachinsky ridge</i>	42°36'21.60"	42°56'52.80"	23.10.11	5	5,9	3,33
25	<i>Район Рачинского хребта</i> <i>/ The area of the Rachinsky ridge</i>	42°20'04.56"	42°47'27.60"	29.06.18	10	4,4	3,30
26	<i>Район Месхетского хребта</i> <i>/ The area of the Meskheti ridge</i>	41°57'39.60"	42°39'25.20"	19.01.11	10	5,2	4,03
27	<i>Большой Кавказ / Greater Caucasus</i>	43°15'07.20"	41°39'43.20"	28.05.13	4,8	5,1	3,72
28	<i>Большой Кавказ / Greater Caucasus</i>	43°13'8.40"	41°38'13.20"	26.03.13	10	5,1	3,70
29	<i>Акватория Черного моря</i> <i>/ Black Sea water area</i>	42°25'12.00"	41°04'30.00"	25.12.12	10	5,2	3,38
30	<i>Акватория Черного моря</i> <i>/ Black Sea water area</i>	42°26'09.60"	40°58'26.40"	25.12.12	10	5,2	3,38

¹ Жирным шрифтом выделены данные о землетрясениях, которые могли спровоцировать сходы крупных селей в районе исследования

Как уже отмечалось, методика исследования предполагает совместный анализ основных факторов проявления экзогенных процессов. Отображения факторов, которые меняются во времени, для удобства анализа помещены друг под другом в одном временном масштабе. Помимо землетрясений, это графики температуры воздуха, осадков и морозного выветривания, которое отражается в количестве переходов температуры воздуха через точку замерзания – ноль градусов по Цельсию. Во избежание перегрузки статьи иллюстрациями, мы приводим здесь совмещённые графики только за период с 2016 г. по 2021 г. (рис. 4). С начала исследования территории и, соответственно, расчётов землетрясений, 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, случилось 14 землетрясений силой от 3,1 до 6,6 баллов, причём «спусковым механизмом» послужило землетрясение в 3,1 балла – температура воздуха соответствовала многолетнему тренду, а осадки значительно отставали от него. Во время следующего цикла произошло 29 землетрясений, силой от 3 до 4,8 баллов (см. рис. 4г). Серия крупных селей сошла в исследуемом районе в июле 2017 г., что мы принимаем за окончание очередного цикла. Обратим внимание на то, что осадки в том месяце были скудными по июльским меркам – всего 67 мм, что больше, чем на 20 мм отстаёт от нормы (см. рис. 4б).

Ситуация с морозным выветриванием была стандартной – в июне был зафиксирован один переход температуры воздуха через точку замерзания воды, в июле – ни одного. Наиболее активным морозное выветривание было традиционно в марте – 27 и апреле – 22 перехода соответственно, что тоже соответствовало многолетнему тренду (см. рис. 4в).

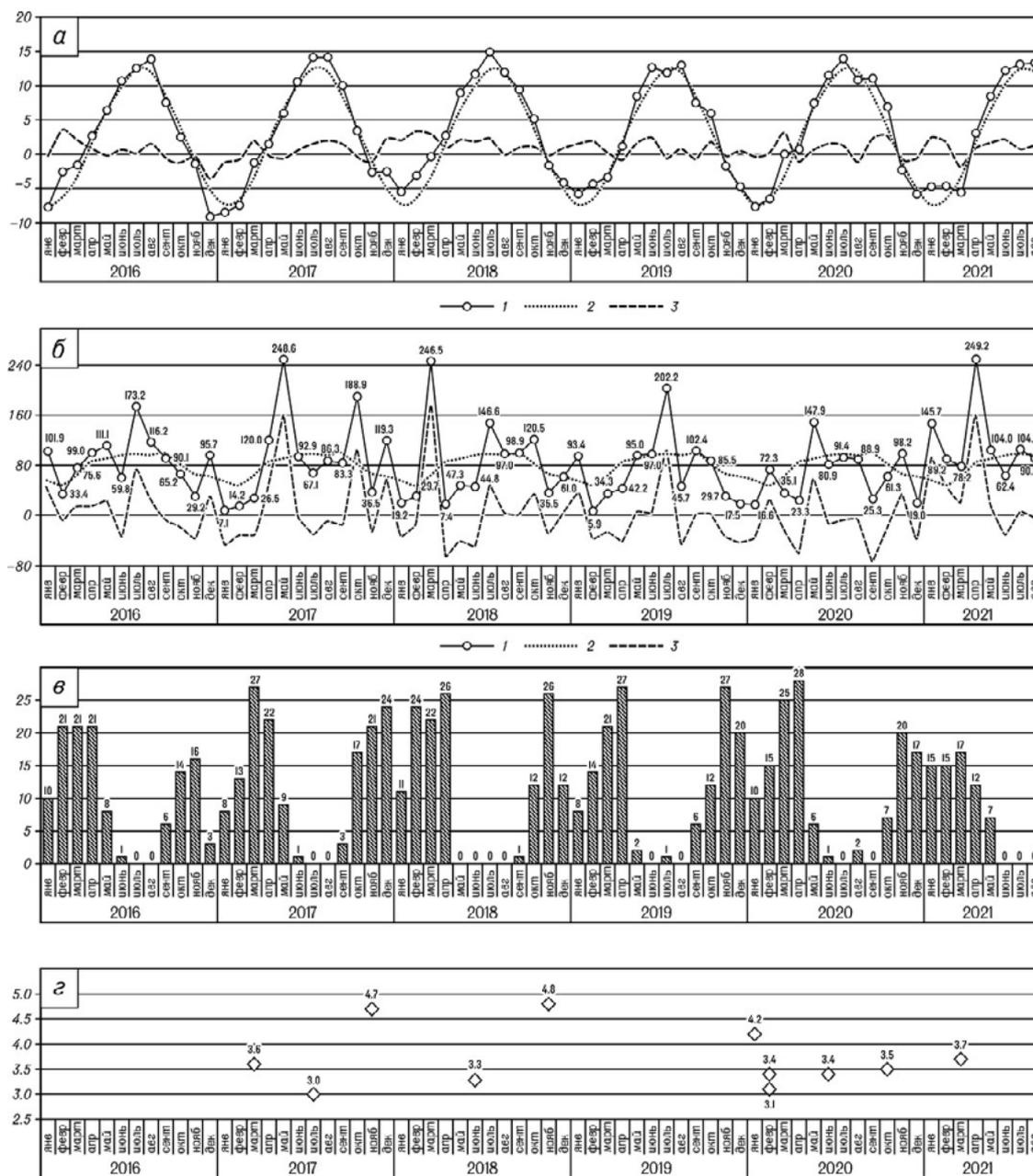


Рис. 4. Факторы формирования экстремальных экзогенных процессов в 2016-21 гг.: а – температура воздуха, °С, б – осадки, мм, в – количество дней с переходами температуры воздуха через 0°С, г – землетрясения, интенсивность в баллах; 1 – среднемесячные значения за год, 2 – среднемесячные значения за 1951-2013 гг., 3 – отклонения среднемесячных значений за год (1) от среднемесячных значений за 1951-2013 гг. (2) /

Fig. 4. Factors of formation of extreme exogenous processes in 2016-21: a – air temperature, °C, b – precipitation, mm, c – number of days with air temperature transitions through 0 °C, d – earthquakes, intensity in points; 1 – average monthly values for the year, 2 – average monthly values for 1951-2013, 3 – deviations of average monthly values for the year (1) from average monthly values for 1951-2013 (2)

Выводы

Помимо очевидной роли подготовки обломочного материала, слабые землетрясения могут выполнять функцию «спускового механизма» для крупных селей, завершающих цикл опасных экзогенных процессов.



*Рис. 5. Низовья р. Метиан-Суу после схода крупного селя в июле 2017 г.
(фото В. А. Караваева, 18 июля 2017 г.) /*

*Fig. 5. Lower river Metian-Suu after a large debris flow in July 2017
(photo by V.A. Karavaev, July 18, 2017)*

В июле 2012 г. и июле 2017 г. сошли крупные сели, завершив, таким образом, на исследуемой территории очередные циклы экстремальных экзогенных процессов. Катализатором в обоих случаях послужили слабые 3-хбалльные землетрясения и, во втором случае в значительно меньшей степени, – небольшое превышение температуры воздуха, вызвавшее таяние ледников в высокогорье.

Литература

1. Аптикаева О. И. Особенности Ванских землетрясений 1976 и 2011 гг., роевая сейсмичность и поле поглощения S-волн. // *Геология и Геофизика Юга России*. – 2019. – Т. 9 (3). – С. 105-118. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36475
2. Габсатарова И. П., Королецки Л. Н., Селиванова Е. А., Артёмова Е. В., Каменская О. П. Северный Кавказ. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2019. – № 22. – С. 82-95. DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.07
3. Етирмишли Г. Д., Абдуллаева Р. Р., Исмаилова С. С., Казымова С. Э. Азербайджан. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2018. – № 21 (2012). – С. 59-66.
4. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Габараев А. Ф., Мерзликкин Т. И. Нелинейные колебания грунтовой толщи по инструментальным и численным данным. // *Геология и Геофизика Юга России*. – 2021. – Т. 11 (4). – С. 70-82. DOI: 10.46698/VNC.2021.77.59.006
5. Инженерное обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций. Кн. 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях. / С.К. Шойгу (под общ. ред.). – М.: Папирус, 1998. – 166 с.

6. Караваев В. А., Семиноженко С. С. Цикл экстремальных геоморфологических процессов в бассейне реки Черек Балкарский. // Геоморфология. – 2016. – №2. – С. 34-40. DOI: 10.15356/0435-4281-2016-2-34-40
7. 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. DOI: 10.29003/m1383.0514-7468.2020_42_2/136-142
8. Кешева Л. А., Теунова Н. В. Изменение температурного режима в различных климатических зонах Кабардино-Балкарской Республики. // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. – 2021. – Т. 21. №1. – С. 46-51. DOI: 10.47928/1726-9946-2021-21-1-46-51
9. Куровская В. А., Черноморец С. С., Висхаджиева К. С. Оценка количественных характеристик селевого потока 2015 г. в долине р. Барсемдара (Таджикистан) по видеоматериалам и результатам моделирования. // Геориск. – 2020. – №3. – С. 8-11. DOI: 10.25296/1997-8669-2020-14-3-12-22
10. Махинов А. Н. Крупный оползень и вызванное им цунами в Бурейском водохранилище. // Геоморфология. – 2020. – №3. – С. 31-43. DOI: 10.31857/S0435428120030086
11. Рогожин Е. А., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Канониди К. Х. О разрушительном землетрясении на границе Ирана с Ираком. // Геофизические процессы и биосфера. – 2018. – Т. 17. №2. – С. 5-22. DOI: 10.21455/gpb2018.2-1
12. Стогний В. В., Заалишвили В. Б., Пономарёва Н. Л. Современная геодинамика и сейсмичность Северного Кавказа: проблемы мониторинга. // Геология и Геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12 (2). – С. 34-52. – DOI: 10.46698/VNC.2022.25.32.003
13. Ташилова А. А., Кешева Л. А., Теунова Н. В. Анализ режима осадков на Северном Кавказе за последние 60 лет. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. – М.: Ин-т истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН, 2022. – С. 671-675.
14. Уломов В. И. Выявление потенциальных очагов и долгосрочный прогноз сильных землетрясений на Северном Кавказе. // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. 1. Сейсмические процессы и катастрофы. / Под ред. А. О. Глико. – М.: ИФЗРАН, 2008. – С. 127-146.
15. Elliott J., Copley A., Holley R., Scharer K., Parsons B. The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake. // J. Geophys. Res. Solid Earth. – 2013. – Vol. 118. –pp. 1619-1637.
16. Horton A. J., Hales T. C., Ouyang C., Xuanmei F. Identifying post-earthquake debris flow hazard using Massflow. // Engineering Geology. – 2019. – Vol. 258. – pp. 105134. DOI: 10.1016/j. enggeo. 2019.05.011
17. Lentas, K., Gkarlaoui, C. G., Kalligeris, N., Melis N. S. The 30 October 2020, MW= 7.0, Samos earthquake: aftershock relocation, slip model, Coulomb stress evolution and estimation of shaking. // Bull Earthquake Eng. – 2022. – pp. 819-851. DOI: 10.1007/s10518-021-01260-4
18. 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. – 2022. – Vol. 210. –pp. 105929. DOI: 10.1016/j. catena. 2021.105929
19. Scholz C. H. 2019. The Mechanics of Earthquakes and Faulting. // Cambridge University Press, Cambridge. – 493 p. DOI: 10.1017/9781316681473
20. Tang C., van Westen C. J. Atlas of Wenchuan-Earthquake Geohazards. // Science Press, Beijing. – 2018. – 96 p.

References

1. Aptikaeva O. I. Features of the 1976 and 2011 Van earthquakes, swarm seismicity and S-wave attenuation field. Geology of the South of Russia. 2019. Vol. 9 (3). pp 105-118. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36475 (in Russ.)

2. Gabsatarova I.P., Koroletsky L.N., Selivanova E.A., Artyomova E.V., Kamenskaya O.P. North Caucasus. Earthquakes of Northern Eurasia. 2019. No. 22. pp. 82-95. DOI: 10.35540/1818-6254.2019.22.07 (In Russ.)
3. Etirmishli G.D., Abdullaeva R.R., Ismailova S.S., Kazymova S.E. Azerbaijan. Earthquakes of Northern Eurasia. 2018. No. 21. pp. 59-66. (In Russ.)
4. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Gabaraev A.F., Merzlikin T.I. Nonlinear vibrations of soil strata according to instrumental and numerical data. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11 (4). pp. 70-82. DOI: 10.46698/VNC.2021.77.59.006 (in Russ.)
5. Engineering support of measures and actions for the liquidation of emergency situations. Book. 2. Operational forecasting of the engineering situation in emergency incidents. S.K. Shoigu (ed.). Moscow. Papyrus. 1998. 166 p. (in Russ.)
6. Karavayev V.A., Seminozhenko S.S. The extreme geomorphologic processes cycle in the Balkar Cherek river basin. *Geomorphology*. 2016. No. 2. pp. 34-40. DOI: 10.15356/0435-4281-2016-2-34-40 (In Russ.)
7. Karavaev V.A., Fedin A.V., Seminozhenko S.S. A new cycle of dangerous processes in the highlands of the Central Caucasus. *Life of the Earth*. 2020. Vol. 42. No. 2. pp. 136-142. DOI: 10.29003/m1383.0514-7468.2020_42_2/136-142 (In Russ.)
8. Kesheva L.A., Teunova N.V. Changes in the temperature regime in various climatic zones of the Kabardino-Balkarian Republic. *Reports of the Adyghe (Circassian) International Academy of Sciences*. 2021. Vol. 21. No. 1. pp. 46-51. DOI: 10.47928/1726-9946-2021-21-1-46-51 (In Russ.)
9. Kurovskaya V.A., Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. Assessment of the quantitative characteristics of the mudflow in 2015 in the valley of the river. Barsemdara (Tajikistan) based on video materials and simulation results. *Georisk*. 2020. No. 3. pp. 8-11. DOI: 10.25296/1997-8669-2020-14-3-12-22 (In Russ.)
10. Makhinov A.N. A large landslide and the resulting tsunami in the Bureya reservoir. *Geomorphology*. 2020. No. 3. pp. 31-43. DOI: 10.31857/S0435428120030086 (In Russ.)
11. Rogozhin E.A., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Kanonidi K.Kh. About the devastating earthquake on the border between Iran and Iraq. *Geophysical processes and biosphere*. 2018. Vol. 17. No. 2. pp. 5-22. DOI: 10.21455/gpb2018.2-1 (In Russ.)
12. Stogny V.V., Zaalishvili V.B., Ponomareva N.L. Modern geodynamics and seismicity of the North Caucasus: problems of monitoring. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12 (2). pp 34-52. DOI: 10.46698/VNC.2022.25.32.003 (in Russ.)
13. Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Analysis of the precipitation regime in the North Caucasus over the past 60 years. In: *Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus*. Moscow. IHST RAS. 2022. pp. 671-675. (in Russ.)
14. Ulomov V.I. Identification of potential sources and long-term forecast of strong earthquakes in the North Caucasus. In: *Environmental and climate change. Natural and related man-made disasters*. Vol. 1. Seismic processes and catastrophes. Ed.A. O. Gliko. Moscow. IPE RAS. 2008. pp. 127-146. (in Russ.)
15. Elliott J., Copley A., Holley R., Scharer K., Parsons B. The 2011 Mw 7.1 Van (Eastern Turkey) earthquake. *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 2013. Vol. 118. pp. 1619-1637.
16. Horton A.J., HalesaT. C., Ouyang C., Xuanmei F. Identifying post-earthquake debris flow hazard using Massflow. *Engineering Geology*. 2019. Vol. 258. pp. 105134. DOI: 10.1016/j.enggeo. 2019.05.011
17. Lentas, K., Gkarlaouni, C. G., Kalligeris, N., Melis N. S. The 30 October 2020, MW=7.0, Samos earthquake: aftershock relocation, slip model, Coulomb stress evolution and estimation of shaking. *Bull Earthquake Eng.* 2022. pp. 819-851. DOI: 10.1007/s10518-021-01260-4
18. 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*. 2022. Vol. 210. pp. 105929. DOI: 10.1016/j. catena. 2021.105929
19. Scholz C.H. 2019. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge University Press, Cambridge. 493 p. DOI: 10.1017/9781316681473
20. Tang C., van Vesten C.J. *Atlas of Wenchuan-Earthquake Geohazards*. Science Press, Beijing. 2018. 96 p.