

УДК 551.2.01-551.3.053

DOI: 10.46698/VNC.2026.58.54.001

Оригинальная статья

Геоэкологическое районирование горных территорий Центрального Кавказа: классификация по уровням нагрузки и типам риска

В.Б. Заалишвили^{1,2,3}, М.О. Ревазов¹, Д.А. Мельков¹,
О.Г. Бурдзиева¹, И.Г. Архиреева¹

¹ Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН,
Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а,
e-mail: cgi_ras@mail.ru;

² Центральный научно-исследовательский и проектный институт Минстроя России,
Россия, 119331, г. Москва, пр. Вернадского, 29;

³ Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова,
Россия, 362025, г. Владикавказ, ул. Ватутина, 44-46

Статья поступила: 17.07.2026, доработана: 09.09.2026, принята к публикации: ...2026

Резюме: Актуальность работы. Горные территории Центрального Кавказа характеризуются исключительно высокой геодинамической активностью, обусловленной продолжающейся коллизией литосферных плит, развитой сетью разломов, сейсмичностью до 8–9 баллов и интенсивными экзогенными процессами. На фоне активного хозяйственного освоения и развития туризма оценка геоэкологических рисков становится приоритетной задачей. **Материалы и методы.** Исследование охватывает три ключевые зоны Центрального Кавказа: Кармадонское, Даргавское и Фиагдонское ущелья Республики Северная Осетия-Алания. Всего рассмотрено 39 участков размерами 2×2 км. Методология основана на экспертно-балльном ранжировании 25 факторов воздействия. **Результаты.** Установлено, что наиболее опасными процессами являются сели (вклад до 25% от суммарного риска), оползни (до 18%) и сейсмическая активность (до 15%). Выделены 4 класса геоэкологического состояния: слабая ($D < 0,45$), средняя (0,45–0,55), высокая (0,55–0,65) и регрессивная ($D > 0,65$) нагрузки. Предложена классификация участков по четырём типам риска (тектонно-сейсмический, склоново-эрозионный, селе-гляциальный и смешанный), что позволяет обоснованно выбирать приоритетные стратегии управления рисками.

Ключевые слова: геоэкологическая нагрузка, экспертные оценки, уязвимость, сели, оползни, сейсмичность, зонирование.

Для цитирования: Заалишвили В.Б., Ревазов М.О., Мельков Д.А., Бурдзиева О.Г., Архиреева И.Г. Геоэкологическое районирование горных территорий Центрального Кавказа: классификация по уровням нагрузки и типам риска. *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(3): DOI: 10.46698/VNC.2026.58.54.001

DOI: 10.46698/VNC.2026.58.54.001

Original paper

Geoecological zoning of mountain regions in the Central Caucasus: classification by load levels and risk types

V.B. Zaalishvili^{1,2,3}, M.O. Revazov¹, D.A. Melkov¹,
O.G. Burdzieva¹, I.G. Arkhireeva¹

¹ Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation,
e-mail: cgi_ras@mail.ru;

² Central Research Institute of Construction, Ministry of Construction,
Housing and Utilities of the Russian Federation, 29 Vernadsky Ave.,
Moscow 119331, Russian Federation;

³ North Ossetian State University after K.L. Khetagurov,
44-46 Vatutin Str., Vladikavkaz 362025, Russian Federation

Received: 17.07.2026, revised: 09.09.2026, accepted:2026

Abstract: Relevance. The mountainous territories of the Central Caucasus are characterized by exceptionally high geodynamic activity, driven by the ongoing collision of lithospheric plates, an extensive fault network, seismic intensity up to 8–9, and intense exogenous processes. Amidst active economic development and the growth of tourism, the assessment of geoecological risks has become a priority task. **Materials and Methods.** The study covers three key zones in the Central Caucasus: the Karmadon, Dargavs, and Fiagdon gorges in the Republic of North Ossetia-Alania. A total of 39 sites, each measuring 2×2 km, were analyzed. The methodology is based on an expert scoring system ranking 25 impact factors. **Results.** It was determined that the most hazardous processes are debris flows (contributing up to 25% of the total risk), landslides (up to 18%), and seismic activity (up to 15%). Four classes of geoecological status have been identified: low ($D < 0.45$), moderate (0.45–0.55), high (0.55–0.65), and regressive ($D > 0.65$) load. A classification of sites based on four risk types (tectonic-seismic, slope-erosion, debris flow-glacial, and mixed) is proposed, enabling the informed selection of priority risk management strategies.

Keywords: geoecological load, expert assessments, vulnerability, debris flows, landslides, seismicity, zoning.

For citation: Zaalishvili V.B., Revazov M.O., Melkov D.A., Burdzieva O.G., Arkhireeva I.G. Geoecological zoning of mountain regions in the Central Caucasus: classification by load levels and risk types. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(3): DOI: 10.46698/VNC.2026.58.54.001

Введение

Горные территории Центрального Кавказа характеризуются исключительно высокой геодинамической активностью, обусловленной продолжающейся коллизией литосферных плит, развитой сетью разломов, высокой сейсмичностью (до 8–9 баллов) и интенсивными экзогенными процессами [Гончаренко и др., 2008; Габараев и др., 2023; Стасенко и др., 2023; Яицкая и др., 2023]. На фоне активного хозяйственного освоения

оценка геоэкологических рисков становится приоритетной задачей, особенно в связи с развитием туризма [Заалишвили, Чотчаев, 2022; Бурдзиева и др., 2024a].

Кармадонское, Даргавское и Фиагдонское ущелья являются ключевыми полигонами, где сконцентрированы практически все опасные процессы: землетрясения, оползни, сели, обвалы, эрозия, карст, ледниковые пульсации. Трагические события (сход ледника Колка в 2002 г.) подчёркивают необходимость количественной оценки геоэкологической нагрузки для обоснования защитных мер.

Цель работы – выполнить комплексную количественную оценку геоэкологической нагрузки на выделенных участках, выделить наиболее опасные участки и процессы и обобщить данные.

Материалы и методы

Метод зонирования высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам – это комплексный географический и геоэкологический подход, направленный на выделение зон с разной степенью устойчивости природной среды к антропогенным воздействиям и естественным геологическим процессам [Dilley et al., 2005; Cutter, 2008, 2014; Corominas et al., 2014; Jaedicke et al. 2014; Vranken et al., 2015]. Для количественной оценки геоэкологического воздействия геодинамических факторов использована методика, предложенная в работе [Чотчаев и др., 2021], в которой сделана выборка всех проявляющихся геодинамических и климатических факторов. Интенсивность воздействия каждого на окружающую среду оценена по пятибалльной системе, при этом в основе балльности рассматривается не сила сотрясения, а способность каждого геодинамического фактора к ускорению денудации пород, ослаблению их инженерных свойств, развитию четвертичных отложений, опасных геологических процессов и, в конечном счете, ускоренному изменению геоэкологической ситуации.

Максимальный ранг воздействия отдельного фактора устанавливался на основе методологии экспертных оценок [Гольцман, 1976, 1980] в виде учета массопереноса (обвалы-осыпи, сели, оползни и т. п.), ландшафтно-геоморфологических изменений (подвижки ледников, сход лавин), а также ожидаемых длительных или краткосрочных последствий (тектонические, вулкано-плутонические проявления, землетрясения, сейсмодислокации). Принято, что воздействие на геоэкологическую ситуацию N факторов, каждый интенсивностью в один ранг или единичный ранг, соответствует наименьшему влиянию данного фактора на геоэкологическое состояние, а уровень 5-го ранга – наибольшему.

Исследование охватывает три ключевые зоны Центрального Кавказа (Республика Северная Осетия-Алания):

- Фиагдонская зона (участки №№ 1–15) – долина р. Фиагдон, характеризующаяся высокой тектонической раздробленностью;
- Даргавская зона (участки №№ 16–27) – территория Даргавского сельского поселения, плотно застроенная;
- Кармадонская зона (участки №№ 28–39) – долина р. Геналдон, включая район схода ледника Колка.

В итоге рассматривается 39 участков размерами 2×2 км. Методология основана на экспертно-балльном ранжировании 25 факторов воздействия, объединённых в группы [Чотчаев и др., 2020; Заалишвили, Чотчаев, 2022; Ревазов и др., 2026]:

А. Тектоно-сейсмические: землетрясения ($W_{\max} = 5$), зоны активных нарушений ($W = 3$), пересечения разломов ($W = 4$), трещинная тектоника ($W = 5$), сейсмодислокации ($W = 3$).

Б. Геолого-геоморфологические: распространение четвертичных отложений ($W = 4$), мягкие коренные породы ($W = 3$), базис эрозии ($W = 2$), углы наклона рельефа ($W = 2-3$), мощность четвертичных отложений ($W = 2-3$).

В. Экзогенные процессы: сели ($W = 5$), оползни ($W = 3$), обвалы-осыпи ($W = 4$), плоскостной смыв ($W = 3$), боковая эрозия ($W = 4$), струйная эрозия ($W = 3$), карст ($W = 3$), ледниковые события ($W = 4$).

Г. Геофизические: статические поля ($W = 2$).

Для каждого фактора установлены 4 уровня воздействия (слабый, средний, высокий, регрессивный) с соответствующими весовыми коэффициентами D_i (1; 1,5; 2; 3–5 в зависимости от фактора).

$$\text{Риск } R_i = W_i \times D_i. \quad (1)$$

Суммарный риск $R = \sum R_i$ для каждого участка.

Максимальный весовой рейтинг $W = \sum W_{\max i} = 67$ (с учётом нулевых факторов).

$$\text{Уязвимость } D = R / W, \quad (2)$$

характеризующая геоэкологическое состояние участка.

На основе значений D выделены 4 класса:

- Слабая нагрузка: $D < 0,40$;
- Средняя нагрузка: $0,40 \leq D < 0,55$;
- Высокая нагрузка: $0,55 \leq D < 0,70$;
- Регрессивная нагрузка: $D \geq 0,70$.

Результаты и обсуждение

В результате выполнено зонирование геоэкологической нагрузки (рис. 1–2). Наиболее напряжённая ситуация характерна для Даргавской зоны, где среднее $D = 0,57$, а участок 8 с $D = 0,71$ достигает регрессивного уровня ($D \geq 0,65$). Среднее значение геоэкологической нагрузки по всей территории составило 0,57 при близком медианном значении 0,56. Для отдельных зон средние значения также близки к средним по всей территории:

- Фиагдонская зона (участки №№ 1–15) – среднее 0,57, медианное 0,59;
- Даргавская зона (участки №№ 16–27) – среднее 0,59, медианное 0,59;
- Кармадонская зона (участки №№ 28–39) – среднее 0,56, медианное 0,56.

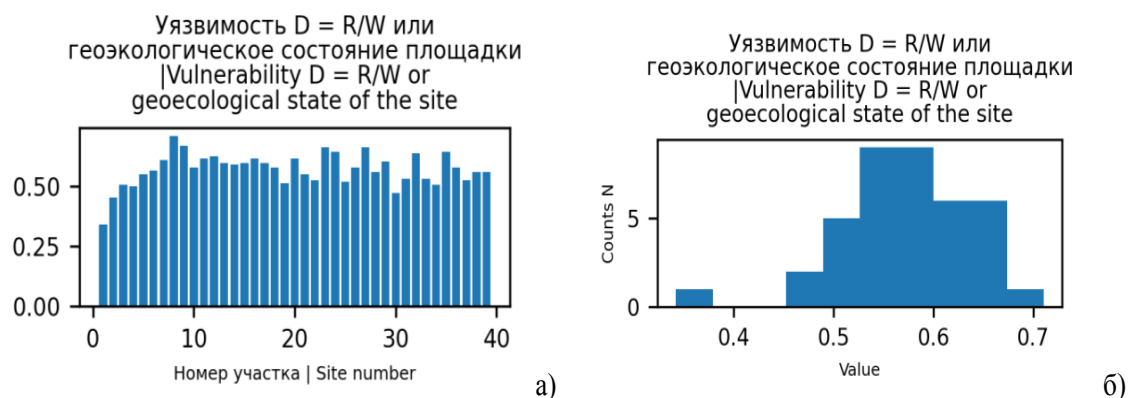


Рис. 1. Результаты ранжирования территории по комплексу факторов воздействия геодинамических и климатических процессов: оценка геоэкологического состояния отдельных зон (а), соответствующая гистограмма распределения (б) /

Fig. 1. Results of ranking the territory based on a complex of factors involving the impact of geodynamic and climatic processes: assessment of the geo-ecological state of individual zones (a) and the corresponding distribution histogram (b)

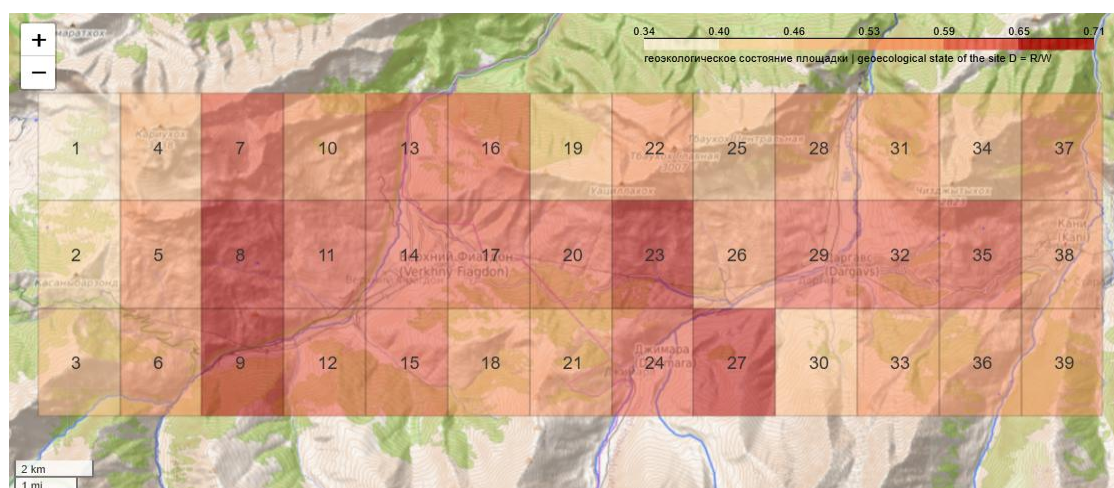


Рис. 2. Схема ранжирования территории по комплексу факторов воздействия геодинамических и климатических процессов (цифрами обозначены номера участков) /

Fig. 2. Diagram showing the ranking of the territory based on a complex of factors involving the impact of geodynamic and climatic processes (numbers indicate sites designations)

В целом дополнительно к указанному участку регрессионного уровня можно выделить следующие участки с максимальной нагрузкой (близкой к пороговой):

- участок № 8 (Фиагдонская зона) – $D = 0,71$;
- участок № 9 (Фиагдонская зона) – $D = 0,67$;
- участок № 23 (Даргавская зона) – $D = 0,66$;
- участок № 27 (Даргавская зона) – $D = 0,66$.

Слабый уровень нагрузки ($D < 0,45$) определен только для первого участка; для второго участка является пороговым:

- участок № 1 (Фиагдонская зона) – $D = 0,34$;
- участок № 2 (Фиагдонская зона) – $D = 0,45$.

Таким образом, именно в Фиагдонской зоне наблюдается наибольший разброс геоэкологической нагрузки.

На основе анализа весовых коэффициентов и значений R_i для всех 39 участков выполнено ранжирование процессов по вкладу в формирование геоэкологической нагрузки (табл. 1). Наиболее значимыми процессами являются сели (до 25%), оползни (до 18%) и землетрясения (до 16%). Совместно они формируют более половины суммарной геоэкологической нагрузки (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Ранжирование процессов по вкладу в геоэкологическую нагрузку /
Ranking of processes by their contribution to the geo-ecological load**

№	Процесс / Process	$W_{\max}$	Средний вклад в R, % / Average contribution to R, %
1	Сели / Mudflows	5	22–25%
2	Землетрясения / Earthquakes	5	14–16%
3	Оползни / Landslides	3	16–18%
4	Трещинная тектоника / Fracture tectonics	5	12–14%
5	Пересечения разломов / Fault intersections	4	9–11%
6	Обвалы-осыпи / Rockfalls and scree	4	8–10%
7	Боковая эрозия / Lateral erosion	4	6–8%
8	Мощность четвертичных отложений / Thickness of Quaternary deposits	3	5–7%

Классификация по доминирующим факторам представляет практический интерес (как для защиты объектов инфраструктуры, так и для оценки техногенной трансформации окружающей среды), поскольку участки с разной факторной структурой будут по-разному реагировать на техногенные нагрузки [Brunsden, Thornes, 1979; Brunsden, 2001]. На основе анализа преобладающих факторов (вклад в суммарный риск R) предлагается выделить четыре группы участков (рис. 3). Критерий отнесения к группе: сумма вкладов факторов соответствующей группы превышает 40% от общего R .

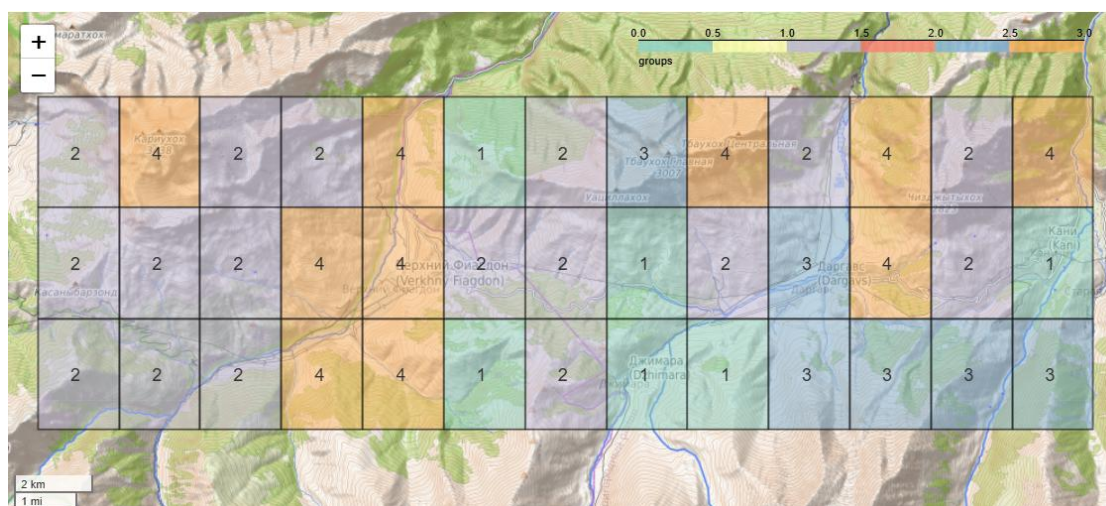


Рис. 3. Схема районирования территории по преобладающим факторам:

1 – группа А – «Тектоно-сейсмически обусловленные»; 2 – группа В – «Склоново-эрозионные»;
3 – группа С – «Селе-гляциальные»; 4 – группа D – «Смешанного типа» /

Fig. 3. Zoning map of the territory based on prevailing factors:

1 – Group A – “Tectono-seismic”; 2 – Group B – “Slope-erosion”; 3 – Group C – “Mudflow-glacial”;
4 – Group D – “Mixed type”

Группа А «Тектоно-сейсмически обусловленные» (участки №№ 16, 18, 23, 24, 27, 38). Характеризуются повышенными значениями факторов: землетрясения (ранг до 4), трещинная тектоника (ранг до 3), пересечения разломов (ранг до 4), сейсмодислокации (ранг до 2). Суммарный вклад тектоно-сейсмических факторов достигает 44,7% от R . Эти участки требуют первоочередных антисейсмических мероприятий. По уровню (рис. 2) выделяются участки 23 и 27.

Группа В «Склоново-эрозионные» (участки №№ 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 17, 19, 20, 21, 26, 28, 34, 35). Характеризуются доминированием оползней (ранг до 3), обвалов-осыпей (ранг до 2), струйной и боковой эрозии (ранг до 3), значительной мощностью четвертичных отложений (ранг до 3) и крутыми углами наклона ($>20^\circ$). Вклад склоново-эрозионных факторов превышает 40% (до 51,6%). Рекомендуются дренажные системы, подпорные стенки и мониторинг склоновых деформаций. Наибольший уровень риска (рис. 2) отмечен на участках 8 и 9.

Группа С «Селе-гляциальные» (участки №№ 22, 29, 30, 33, 36, 39). Характеризуются максимальными значениями по селевой активности (ранг 4–5 у ряда участков), ледниковым событиям (ранг 1,5–2), обвалам (ранг 1–2) и значительным объёмом твёрдого стока. Вклад селе-гляциальных факторов составляет 34–38% от R – ниже порога 40%, но является наибольшим среди групп для этих участков. Для этих участков приоритетны селезащитные сооружения, мониторинг ледников и прогноз паводков. Наибольший уровень риска соответствует участку 29.

Группа D «Смешанного типа» (участки №№ 4, 11, 12, 13, 14, 15, 25, 31, 32, 37). Характеризуются равномерным распределением рисков по всем группам процессов (вклад каждой группы не превышает 40%). Требуют комплексного подхода к инженерной защите. Фактически на участках, где одновременно присутствуют несколько групп факторов, взаимодействие между ними может приводить к значительному усилению рисков в результате каскадных эффектов (например, оползень → подпрудное озеро → прорывной паводок) [Kharismalatri et al., 2025]. При сопоставлении результатов с суммарными уровнями риска (рис. 2) наибольший эффект следует ожидать для участков 13, 14, 15, 31, 32.

Порог > 40% для отнесения участка к группе с доминирующим фактором был установлен на основе следующих соображений. Во-первых, при четырёх группах факторов средний вклад каждой группы составляет 25%; порог 40% существенно превышает этот уровень, что позволяет исключить случаи, где преобладание одной группы статистически незначимо. Во-вторых, порог 33% (равный 1/3) был отвергнут как слишком мягкий. В-третьих, порог 50% (абсолютное большинство) был отвергнут как слишком строгий: при четырёх группах факторов абсолютное большинство достигается редко, и большинство участков попали бы в категорию «смешанного типа», что снизило бы практическую ценность классификации. Ограничение подхода в том, что порог 40% не выведен строго статистически, а установлен экспертно. Следует отметить, что группа C выделена для значений селе-гляциального фактора 34–38%, но при условии его преобладания. Поэтому данная категория может рассматриваться как подгруппа D «смешанного типа», но при этом четко приурочена к Кармадонской зоне и, таким образом, составляет отдельный комплекс. Участки группы D, характеризующиеся равномерным распределением рисков по всем группам процессов, могут рассматриваться как граничные зоны между геоморфологическими системами с различным динамическим состоянием [Phillips, 1992]. Это также согласуется с современными представлениями о каскадных опасностях и режимных сдвигах в геоморфологических системах [Kharismalatri et al., 2025]. Согласно данным [Кашменская, 1980; Кашменская, Хворостова, 1989], именно в граничных зонах наблюдаются наиболее контрастные динамические состояния, и именно здесь требуется соблюдение наибольшей осторожности при возведении инженерных сооружений. Это объясняет необходимость комплексного подхода к защите таких участков: они находятся на стыке разных режимов функционирования, и воздействие на них может вызвать каскадные перестройки в смежных системах.

Предложенная классификация участков по доминирующим факторам может быть представлена в виде картографической модели динамических состояний геоморфологических систем [Кашменская, 1980; Кашменская, Хворостова, 1989]. Такая карта отображает не просто распределение уровней нагрузки, но и качественные различия в механизмах массо- и энергообмена: участки группы A характеризуются преобладанием эндогенного массопереноса, группы B – гравитационного и флювиального, группы C – гляциального и селевого, группы D – совместным действием нескольких агентов. Картографическая модель не только дает оценку текущего состояния, но и может быть использована для прогноза реакции систем на техногенные воздействия [Xue et al., 2025].

Полученные результаты согласуются с исследованиями [Чотчаев и др., 2020; Бурдзиева и др., 20246], подтверждающими определяющую роль тектонического фактора и селевой активности в формировании геоэкологической нагрузки на Центральном Кавказе. Настоящее исследование вводит количественную классификацию участков по четырём группам с пороговыми значениями вклада (> 40%), что позволяет диффе-

ренцировать инженерно-защитные мероприятия. Аналогичные подходы к выделению «горячих точек» оползневой опасности представлены в работах [Corominas et al., 2014; Jaedicke et al., 2014], однако они не содержат формализованного деления на группы с количественными порогами и не охватывают весь спектр процессов (тектонические, склоновые, селевые, гляциальные). Выделение участков по доминирующим факторам геоэкологической нагрузки представляет собой, по существу, типизацию динамических состояний геоморфологических систем, а расчёт уязвимости D – количественную оценку их геоморфологического потенциала [Кашменская, Хворостова, 1989; Brunsden, 2001].

Преемственность с предшествующими работами [Чотчаев и др., 2020, 2021; Бурдзиева и др., 2024а] обеспечивается сохранением общего методического аппарата и подтверждением ключевых положений о ведущей роли тектонического фактора и селевой активности в формировании геоэкологической нагрузки на Центральном Кавказе.

Ограничение используемого подхода, как и всех экспертно-балльных методов, состоит в определённой субъективности весовых коэффициентов. Однако использование формализованного порога для отнесения к группам снижает произвольность интерпретации по сравнению с чисто описательными классификациями.

Выводы

1. На основе экспертно-балльного ранжирования 25 факторов выполнена количественная оценка геоэкологической нагрузки для 39 участков Кармадонского, Даргавского и Фиагдонского ущелий.

2. Установлено, что наиболее опасными процессами являются сели (весовой рейтинг 5), оползни (весовой рейтинг 3) и землетрясения (весовой рейтинг 5). Эти три процесса формируют значительную часть геоэкологической нагрузки на всех участках.

3. Выделены наиболее неблагоприятные участки с высокими уровнями нагрузки ($D = 0,66–0,70$): №№ 8, 9 (Фиагдонская зона), №№ 23, 27 (Даргавская зона).

4. Предложена классификация участков на четыре группы по ведущим факторам риска: тектоно-сейсмические, склоново-эрозионные, селе-гляциальные и смешанного типа.

5. Полученные результаты могут быть использованы при планировании хозяйственного освоения горных территорий, выборе приоритетных участков мониторинга и разработке мероприятий по снижению геоэкологических рисков.

Литература

1. Бурдзиева О.Г., Ревазов М.О., Кортиев А.Л., Гогичев Р.Р. Влияние воздействия геодинамических процессов на геоэкологическую нагрузку горного региона // Геология и геофизика Юга России. – 2024а. – Т. 14. № 4. – С. 166–179. DOI: 10.46698/VNC.2024.50.44.014.

2. Бурдзиева О.Г., Мельков Д.А., Ревазов М.О., Кортиев А.Л. Активизация оползневых процессов, обусловленная урбанизацией горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024б. – Т. 16. № 4(62). – С. 1646–1658. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-4-1646-1658.

3. Габараев А.Ф., Мельков Д.А., Кортиев А.Л., Козырев Е.Н. Влияние геоморфологических условий горного региона на интенсивность проявления опасных геологических процессов // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 4. – С. 198–212. DOI: 10.46698/VNC.2023.84.50.016.

4. Гольцман Ф.М. Комплексирование наблюдений при распознавании геофизических объектов // Физика Земли. – 1976. – №7. – С. 40–54.

5. Гольцман Ф.М. Информационная содержательность эксперимента и учет корреляции нечисловых признаков при распознавании геофизических объектов // Физика Земли. – 1980. – № 10. – С. 71–85.

6. Гончаренко О.А., Заалишвили В.Б., Караев Ю.И., Никитин М.Ю. Опасные геологические процессы Северного Кавказа // В сб.: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008. – С. 160–166.
7. Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. – Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2022. – 230 с.
8. Кашменская О.В. Теория систем и геоморфология. – Новосибирск: Наука, 1980. – 120 с.
9. Кашменская О.В., Хворостова З.М. Концепция картографирования геоморфологических систем. – Новосибирск, 1989. – 12 с. (Препр./ Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР; №17).
10. Ревазов М.О., Мельков Д.А., Бурдзиева О.Г., Архиреева И.Г. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние горных территорий (Кармадонское ущелье) // Геология и геофизика Юга России. – 2026. – Т. 16. № 1. – С. 217–227. DOI: 10.46698/VNC.2026.28.31.001.
11. Стасенко А.А., Данилин М.Н., Харченко В.М., Неркарарян А.Е. Геоморфологическое, геолого-тектоническое строение, геодинамические и экологические условия горы Машук и примыкающей территории центральной части района Кавказских Минеральных вод // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 1. – С. 47–58. DOI: 10.46698/VNC.2023.74.77.004.
12. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. № 4. – С. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.
13. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. № 1. – С. 81–94. DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007.
14. Яицкая Н.А., Дзаганя Л.М., Бригида В.С. Геоэкологические опасности в условиях климатических изменений территорий субтропической зоны Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 2. – С. 118–132. DOI: 10.46698/VNC.2023.54.85.010.
15. Brunsden D., Thornes J.B. Landscape sensitivity and change // Transactions of the Institute of British Geographers. – 1979. – Vol. 4. – pp. 463–484.
16. Brunsden D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology // Catena. – 2001. – Vol. 42. – pp. 99–123.
17. Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Mallet J.-P. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk // Bulletin of Engineering Geology and Environment. – 2014. – Vol. 73. No. 2. – pp. 209–263.
18. Cutter S.L., Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2008. – Vol. 105. Issue 7. – pp. 2301–2306. DOI: 10.1073/pnas.0710375105.
19. Cutter S.L. Building disaster resilience: steps toward sustainability // Challenges in Sustainability. – 2014. – Vol. 1(2). – pp. 72–79.
20. Dilley M., Chen R.S., Deichmann W., Lerner-Lam A.L., Arnold M. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. – Washington D.C.: The World Bank, 2005.
21. Jaedicke C., Van Den Eeckhaut M., Nadim F., Hervas J., Kalsnes B. et al. Identification of landslide hazard and risk ‘hotspots’ in Europe // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2014. – Vol. 73. – pp. 325–339. DOI: 10.1007/s10064-013-0541-0.
22. Kharismalatri H.S., Gomi T., Sidle R.C. Geomorphic thresholds for cascading hazards of debris flows and natural dam formation caused by large landslides // Natural Hazards. – 2025. – Vol. 121. – pp. 15537–15552. DOI: 10.1007/s11069-025-07402-0.
23. Xue L., Hu X., Tang Q., Qi S., Moucha R. Post-anthropogenic landscape evolution: Terrain reshaping and geomorphic response in the Loess Plateau // Geomorphology. – 2025. – Vol. 488. – Art. No. 109976. DOI: 10.1016/j.geomorph.2025.109976.
24. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area // Landslides. – 2015. – Vol. 12. No. 4. – pp. 787–798.
25. Phillips J.D. Equilibrium, disequilibrium, and nonequilibrium landforms in the landscape // Geomorphology. – 1992. – Vol. 5. – pp. 265–276.

References

1. Burdzieva O.G., Revazov M.O., Kortiev A.L., Gogichev R.R. Influence of geodynamic processes on the geoecological load of mountain region. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024a. Vol. 14. No. 4. pp. 166–179. DOI: 10.46698/VNC.2024.50.44.014. (In Russ.)
2. Burdzieva O.G., Melkov D.A., Revazov M.O., Kortiev A.L. Activation of landslide processes caused by urbanization of mountainous areas. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024b. Vol. 16. No. 4. pp. 1646–1658. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-4-1646-1658. (In Russ.)
3. Gabaraev A.F., Melkov D.A., Kortiev A.L., Kozyrev E.N. Influence of geomorphological conditions of a mountain region on the intensity of hazardous geological processes. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 4. pp. 198–212. DOI: 10.46698/VNC.2023.84.50.016. (In Russ.)
4. Goltsman F.M. Integration of observations in the recognition of geophysical objects. *Physics of the Solid Earth*. 1976. No. 7. pp. 40–54. (In Russ.)
5. Goltsman F.M. Information content of an experiment and accounting for the correlation of non-numerical features in the recognition of geophysical objects. *Physics of the Solid Earth*. 1980. No. 10. pp. 71–85. (In Russ.)
6. Goncharenko O.A., Zaalishvili V.B., Karaev Yu.I., Nikitin M.Yu. Hazardous geological processes of the North Caucasus. In: *Hazardous Natural and Technogenic Geological Processes in Mountainous and Foothill Territories of the North Caucasus*. Vladikavkaz. CGI VSC RAS and RNO-A. 2008. pp. 160–166. (In Russ.)
7. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high-mountain territories. Vladikavkaz. GPI VSC RAS. 2022. 230 p. (In Russ.)
8. Kashmenskaya O.V. *Systems theory and geomorphology*. Novosibirsk. Nauka. 1980. 120 p. (In Russ.)
9. Kashmenskaya O.V., Khvorostova Z.M. Concept of mapping geomorphological systems. Novosibirsk. 1989. 12 p. (Preprint / Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. No. 17). (In Russ.)
10. Revazov M.O., Melkov D.A., Burdzieva O.G., Arkhireeva I.G. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of mountain areas (Karmadon Gorge). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2026. Vol. 16. No. 1. pp. 217–227. DOI: 10.46698/VNC.2026.28.31.001. (In Russ.)
11. Stasenko A.A., Danilin M.N., Kharchenko V.M., Nerkararyan A.E. Geomorphological, geological and tectonic structure, geodynamic and ecological conditions of Mount Mashuk and the adjacent territory of the central part of the Caucasus Mineralnye Vody region. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 1. pp. 47–58. DOI: 10.46698/VNC.2023.74.77.004. (In Russ.)
12. Chotchaev Kh. O., Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain areas. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No. 4. pp. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005. (In Russ.)
13. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Zoning of high mountain areas by geoecological loads caused by geodynamic and climatic influences. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 81–94. DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007. (In Russ.)
14. Yaitskaya N.A., Dzaganiya L.M., Brigida V.S. Geoecological hazards in context of climate change of territories of Caucasus subtropical zone. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 2. pp. 118–132. DOI: 10.46698/VNC.2023.54.85.010. (In Russ.)
15. Brunnsden D., Thornes J.B. Landscape sensitivity and change. *Transactions of the Institute of British Geographers*. 1979. Vol. 4. pp. 463–484.
16. Brunnsden D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena*. 2001. Vol. 42. pp. 99–123.
17. Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Mallet J.-P. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*. 2014. Vol. 73. No. 2. pp. 209–263.
18. Cutter S.L., Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008. Vol. 105. Issue 7. pp. 2301–2306. DOI: 10.1073/pnas.0710375105.
19. Cutter S.L. Building disaster resilience: steps toward sustainability. *Challenges in Sustainability*. 2014. Vol. 1(2). pp. 72–79.

20. Dilley M., Chen R.S., Deichmann W., Lerner-Lam A.L., Arnold M. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. Washington D.C. The World Bank. 2005.
21. Jaedicke C., Van Den Eeckhaut M., Nadim F., Hervas J., Kalsnes B. et al. Identification of landslide hazard and risk 'hotspots' in Europe. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2014. Vol. 73. pp. 325–339. DOI: 10.1007/s10064-013-0541-0.
22. Kharismalatri H.S., Gomi T., Sidle R.C. Geomorphic thresholds for cascading hazards of debris flows and natural dam formation caused by large landslides. *Natural Hazards*. 2025. Vol. 121. pp. 15537–15552. DOI: 10.1007/s11069-025-07402-0.
23. Xue L., Hu X., Tang Q., Qi S., Moucha R. Post-anthropogenic landscape evolution: Terrain reshaping and geomorphic response in the Loess Plateau. *Geomorphology*. 2025. Vol. 488. Art. No. 109976. DOI: 10.1016/j.geomorph.2025.109976.
24. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. *Landslides*. 2015. Vol. 12. No. 4. pp. 787–798.
25. Phillips J.D. Equilibrium, disequilibrium, and nonequilibrium landforms in the landscape. *Geomorphology*. 1992. Vol. 5. pp. 265–276.