

УДК 550.34

DOI: 10.46698/VNC.2024.50.44.014

Оригинальная статья

Влияние воздействия геодинамических процессов на геоэкологическую нагрузку горного региона

О.Г. Бурдзиева¹, М.О. Ревазов¹, А.Л. Кортиев², Р.Р. Гогичев¹

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

² Северокавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Статья поступила: 18.09.2024, доработана: 03.12.2024, принята к публикации: 04.12.2024

Резюме: Активное развитие внутреннего туризма в России в последние годы способствует активной застройке ранее неиспользуемых высокогорных территорий Северного Кавказа, одновременно повышая и геоэкологическую нагрузку, определяет **актуальность** ее оценок. **Целью** работы является выявление и оценка факторов, формирующих нагрузку на природную систему, подвергающуюся регулярному и длительному антропогенному воздействию. **Методы.** В исследовании используются методы экспертных оценок воздействий различной природы. В основу методологического обоснования проведенных исследований положены современные теоретические и эмпирические представления о геодинамических процессах региона, их классификационное представительство на территории, структурно-тектонические и литологические особенности геологической среды, а также физико-механические, петрофизические и геохимические характеристики горных пород. **Результаты.** Эндогенная активность является причинным фактором активизации экзогенных процессов и одним из признаков этого является устойчивая приуроченность последних к тектоническим нарушениям и узлам разноранговых разрывных структур, очаговым зонам сейсмической и вулканоплутонической активности. Оценка уровня геоэкологической нагрузки и соответствующего геоэкологического риска предполагает необходимость выявления факторов, формирующих их. С помощью экспертных оценок были введены количественные характеристики воздействий, обусловленных литологическими, геоморфологическими, эндогенными, экзогенными геологическими и природно-климатическими факторами. Появляется возможность прогноза уровня воздействия природно-техногенной нагрузки и разработки мероприятий по смягчению тяжести последствий развития опасных природных процессов и проявления опасных экзогенных процессов: оползней, селей, обвалов при практическом строительстве.

Ключевые слова: геодинамические воздействия и их факторы, эндогенные и экзогенные процессы, природно-техногенное воздействие, экспертные оценки, геоэкологические нагрузки и риски.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект «Разработка инновационных методов диагностирования и прогнозирования лавинно-селевых явлений, деградации горного оледенения и разработка рекомендаций по защите от их негативного воздействия на рекреационные комплексы ВТРК «Мамисон», № 23-17-20001).

Для цитирования: 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*. 2024. 14(4): 166-179. DOI: 10.46698/VNC.2024.50.44.014

DOI: 10.46698/VNC.2024.50.44.014

Original paper

Influence of geodynamic processes on the geoecological load of mountain region

O.G. Burdzieva¹, M.O. Revazov¹, A.L. Kortiev², R.R. Gogichev¹

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

² North Caucasian institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
44 Nikolaeva Str., Vladikavkaz 362021, Russian Federation

Received: 18.09.2024, revised: 03.12.2024, accepted: 04.12.2024

Abstract: Active development of domestic tourism in Russia in recent years contributes to the active development of previously unused high-mountainous territories of the North Caucasus, simultaneously increasing the geo-ecological load, determines the relevance of its assessments. The aim of the work is to identify and assess the factors that form the load on the natural system subjected to regular and long-term anthropogenic impact. **Methods.** The study uses methods of expert assessments of impacts of different nature. The methodological basis of the study is based on modern theoretical and empirical concepts of geodynamic processes of the region, their classification representation in the territory, structural-tectonic and lithological features of the geological environment, as well as physical-mechanical, petrophysical and geochemical characteristics of rocks. **Results.** Endogenous activity is a causal factor in the activation of exogenous processes and one of the signs of this is the stable confinement of the latter to tectonic faults and nodes of differently ranked discontinuous structures, focal zones of seismic and volcanic-plutonic activity. Assessment of the level of geo-ecological load and the corresponding geo-ecological risk implies the need to identify the factors that form them. With the help of expert assessments, quantitative characteristics of impacts caused by lithological, geomorphological, endogenous, exogenous geological and natural-climatic factors were introduced. This approach makes it possible to predict the level of impact of natural and technological load and to develop necessary measures to prevent the severity of possible consequences for the development of hazardous natural processes and manifestation of dangerous exogenous processes: landslides, mudflows, rockslides in practical construction.

Keywords: geodynamic impacts and their factors, endogenous and exogenous processes, natural – technological impacts, expert assessments, geoecological loads and risks.

Acknowledgement: This work was supported by the Russian Science Foundation (Development of innovative methods for diagnosing and predicting avalanche and mudflow phenomena, degradation of mountain glaciation and development of recommendations for protection against their negative impact on the recreational complexes of the ATRC “Mamison”, project No. 23-17-20001).

For citation: Burdzieva O.G., Revazov M.O., Kortiev A.L., Gogichev R.R. Influence of geodynamic processes on the geoecological load of mountain region. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(4): 166-179. DOI: 10.46698/VNC.2024.50.44.014

Введение

Активное развитие внутреннего туризма в России в последние годы способствует стремительной застройке ранее неиспользуемых высокогорных территорий Северного Кавказа, одновременно повышая геоэкологическую нагрузку, и, несо-

мненно, определяет актуальность ее оценок. В этой связи, исходя из нынешней тенденции развития республики Северная Осетия-Алания, предполагающей также ускоренное развитие туристической инфраструктуры, в том числе, создание новых горных маршрутов для автотранспорта, повышается уровень антропогенного и техногенного воздействия, тем самым увеличивая и уровень геоэкологической нагрузки на территорию.

Геодинамический процесс, исходя из принципа наименьшей энергии любой физической системы, следует рассматривать как единственное решение самой системой возникшего энергетического дисбаланса. Эндогенная активность является причинным фактором активизации экзогенных процессов и одним из признаков этого является устойчивая приуроченность последних к тектоническим нарушениям и узлам разноранговых разрывных структур, очаговым зонам сейсмической и вулканоплутонической активности [Яроцкий, Чотчаев, 2019].

Уровень воздействия на геоэкологическую среду эндогенных и экзогенных геодинамических процессов характеризует широко развитые по площади различные генетические типы четвертичных образований, формирующие многочисленные очаги экзогенных опасных геологических процессов [Бурдзиева и др., 2023; Заалишвили, Чотчаев, 2022; Zaalishvili et al., 2019].

Территория Северной Осетии характеризуется целым рядом опасных геологических процессов (вулканы, землетрясения, ледники, оползни, лавины, наводнения и др.) [Атлас ..., 2007; Гончаренко и др., 2008]. Такая напряженность геодинамической нагрузки предполагает определение областей распределения воздействия геодинамических источников различной природы в пространстве по типу сейсмического микрорайонирования [Hamzehloo et al., 2007; Walling, Mohanty, 2009], реализуя их детальное изучение.

Методы

Особенности формирования и взаимосвязь эрозионных опасных геологических процессов, и их влияние на геоэкологию высокогорных территорий объединяют характерные опасные природные экзогенные геологические процессы, определяющие геоэкологическое состояние высокогорных территорий (рис. 1).

Геоморфологические условия местности, являясь структурой эндогенного проявления, отображают основные элементы тектонической деятельности. Исчерпывающее изучение геоморфологических характеристик позволяет прогнозировать изменение ландшафта и эволюцию речной системы в результате природной (тектонической) деятельности [Zaalishvili, Gogmachadze, 2000].

На горные регионы также значительное влияние оказывают различные проявления техногенных воздействий. Обособленное воздействие техногенных процессов как частного фактора антропогенеза, способствующего негативному воздействию на ландшафт и геоморфологические структуры, а также на геологические условия территории, повышает уровень геоэкологической напряженности вплоть до опасного [Svalova et al., 2019].

Высокогорные селения в Северной Осетии (Фиагдон, Кармадон, Даргавс и др.) в большинстве своем находятся в местах аккумуляции экзогенного материала в виде делювия, пролювия и коллювия, накапливающихся в долинах и на склонах горных рек [Бурдзиева и др., 2023].

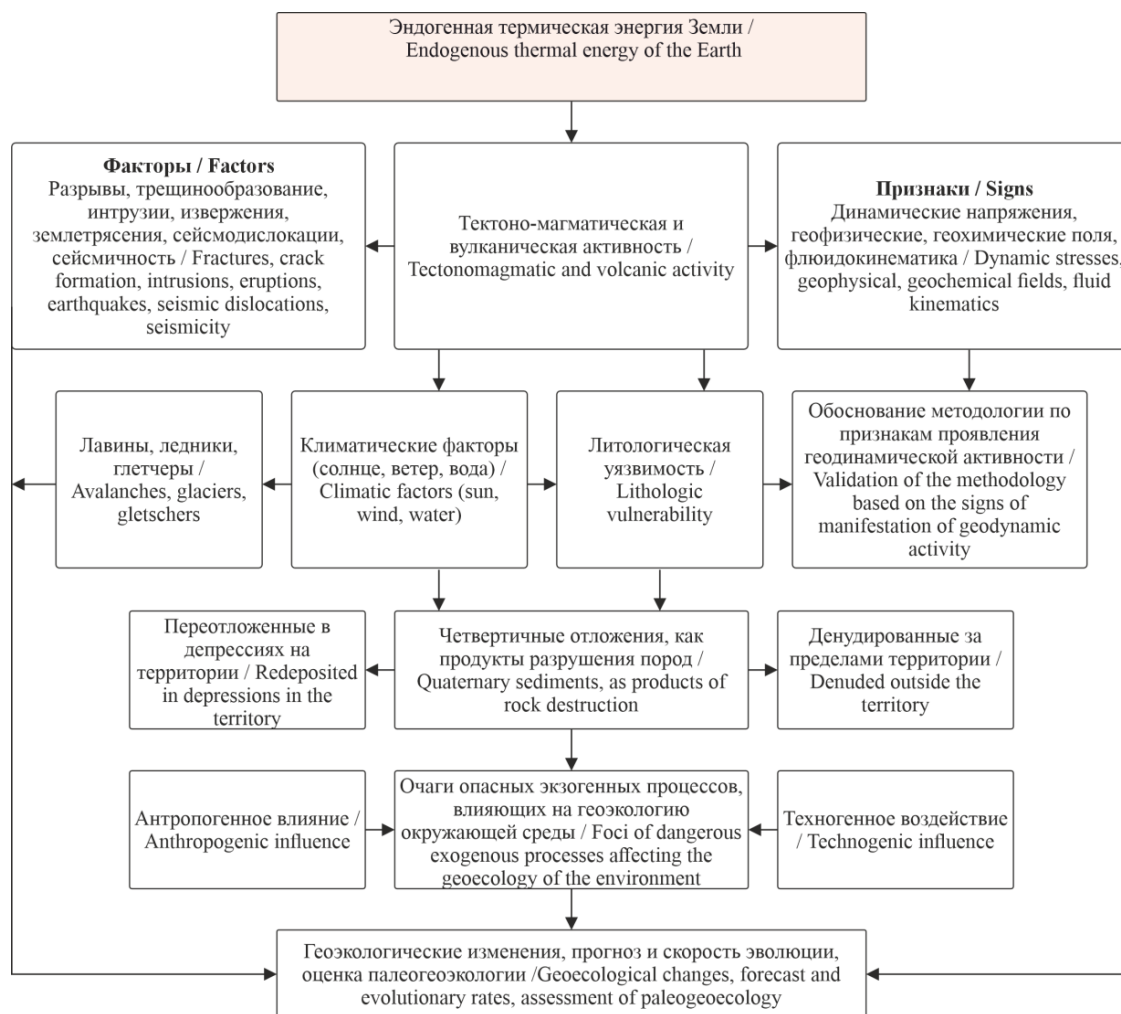


Рис. 1. Признаки и факторы геодинамического воздействия на геоэкологическое состояние окружающей среды [Чотчаев и др., 2020] /

Fig. 1. Signs and factors of geodynamic impact on the geoeological state of the environment [Chotchaev et al., 2020]

В этой связи представляет интерес исследование наиболее застраиваемой территории, а именно, долины р. Фиагдон и склонов ее ущелья с ее естественным ядром – с. Фиагдон.

Селение Фиагдон расположено в чаше Фиагдонской антиклинали, которая находится между Садон-Унальским горстом и зоной Киммерийской складчатости, разделяет их Западный Шаумагархский разлом с запада и Дагомский и Ахсаудонский разломы с востока. Фиагдонская антиклиналь расположена в центральной части Центрально-Кавказской зоны и занимает долины рек Фиагдон и ее левого притока Цазиудон. Представляющая собой сундучную складку антиклиналь, протягивается в юго-восточном направлении практически на 10 км (Ольховский, Тибилов, 1998). Данная зона из-за особенности геологического строения (сложена среднелейасовой морской терригенной формацией), и режимов осадконакопления является опасной благодаря преобладанию крутопадающих с образованием оползней склонов: Кадатский, Авсандурский, Ханикомский и т.д. [Агibalова, 1983] (рис. 2). В этой связи, необходимо также отметить, что через территорию с. Фиагдон проходит Садонская шовно-депрессионная зона, концентрирующая напряжения между двумя

микроплитами и их зонами поднятий – Лесистым и Скалистым хребтами.



Рис. 2. Надпойменные террасы и палеоползневые склоны в долине р. Фиагдон /

Fig. 2. Upland terraces and paleoslide slopes in the Fiagdon River valley

Для количественной оценки геоэкологического воздействия геодинамических факторов сделана выборка всех проявляющихся геодинамических и климатических факторов, интенсивность воздействия каждого из которых на окружающую среду приведена по пятибалльной системе. При этом в основе ранга рассматривается не сила сотрясения, а способность того или иного геодинамического фактора к ускорению денудации пород, ослаблению их инженерных свойств, развитию четвертичных отложений, опасных геологических процессов и, в конечном счете, ускоренному изменению геоэкологической обстановки.

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), длительных или краткосрочных ожидаемых последствий (тектонические, вулканоплутонические проявления, землетрясения, сейсмодислокации). Принято, что воздействие на геоэкологическую ситуацию N факторов, каждого интенсивностью в один ранг или единичный ранг соответствует наименьшему влиянию фактора на геоэкологическое состояние, а уровень 5 ранга – наибольшему по аналогии с работами Заалишвили В.Б. [Заалишвили, 2000].

Для расчета риска R реализации воздействия использовалось следующее соотношение [Чотчаев и др., 2021]:

$$R = W \times D \quad (1)$$

где: W – суммарное, максимально возможное воздействие всех учтенных факторов $W = \sum W_{\max i}$, ранг;

D – уязвимость или геоэкологическое состояние конкретной локальной площадки, ранг;

R_i – риск проявления воздействия отдельного фактора W_i и реакция локальной площадки на воздействие данного фактора D_i , соответственно, $R_i = W_i \times D_i$, ранг.

$$R = \sum R_i \quad (2)$$

Необходимо отметить, что при оценке весового вклада геодинамического фактора, элемент субъективизма присутствует, однако чем больше факторов используется в комплексе, тем более суммарная ошибка за субъективизм приближается к минимуму.

На основе анализа результатов изучения комплекса геодинамических факторов, наблюдаемых на территории проектируемого комплекса, были разработаны две таблицы. В таблице 1 введены количественные характеристики воздействий геодинамических процессов на геоэкологическое состояние площадки, обусловленных литологическими, геоморфологическими, эндогенными, экзогенными геологическими и природно-климатическими факторами. Далее рассчитываются риски R_i проявления воздействия отдельного фактора с потенциалом W_i на площадку и ее геоэкологической уязвимостью D_i к соответствующему фактору [Чотчаев и др., 2021].

Таблица 1 / Table

Количественные характеристики воздействий геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий / Quantitative characteristics of impacts of geodynamic processes on geo-ecological state of high-mountainous territories

№п/п	Виды воздействия / Types of impacts	Уровень воздействия / Exposure level			
		Слабый / Weak	Средний / Medium	Высокий / High	Регрессивный / Regressive
1	2	3	4	5	6
1	Землетрясения в ближней зоне ($R=50$ км), сейсмическая интенсивность, баллы / Earthquakes in the near zone ($R=50$ km), seismic intensity, points	<6	6-7	7-8	8-9
2	Зона активного нарушения (плотность нарушений, в км/км ²) / Active disturbance zone (disturbance density, in km/km ²)	0,01	0,02	0,03	0,04
3	Зона пересечения субширотных и субмеридиональных нарушений от одного до четырех и выше (пересечение), N / Zone of intersection of sublatitudinal and submeridional disturbances one to four and above (intersection), N	1	2	3	>3
4	Зона развития трещинной тектоники, км/км ² / Fracture tectonics development zone, km/km ²	0,03	0,05	0,07	>0,07
5	Зоны, подверженные воздействию статических геофизических, геохимических полей в радиусе действия событий: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50, R, км / Areas affected by static geophysical, geochemical fields within the event radius: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50, R, km	3	4	5	6
6	Зоны проявления событий сейсмодислокаций в пределах структурного блока, N / Zones of manifestation of seismodislocation events within the limits of structural block, N	1	2	3	>3

7	Распространение четвертичных отложений в интервалах высот, H, м / Distribution of Quaternary sediments in height intervals, H, m	1700-2000	2000-2300	2300-2600	>2600
8	Коренные породы мягкие (до 50 МПа), обнаженность, проценты / Root rocks soft (up to 50 MPa), bareness, percent	40	50	60	>60
9	Базис эрозии 1000 м и более, на высотах от 2000 и выше, с учетом оледенения, h, м / Erosion base 1000 m and more, at altitudes from 2000 and higher, taking into account glaciation, h, m	2000-2500	2500-3000	3300-3500	3500-4000
10	Базис эрозии 500 м на высотах от 1500 и выше, h, м / Erosion base 500 m at elevations from 1500 and above, h, m	1500-1700	1700-1800	1800-1900	1900-2000
11	Базис эрозии до 500 м на высотах от 1500 м и ниже, h, м / Erosion base up to 500 m at altitudes from 1500 m and below, h, m	1300-1500	1100-1300	1000-1100	>1000
12	Рельеф с углами наклона до 15° по генетическим типам грунтов. Процессы / Relief with slope angles up to 15° by genetic soil types, processes	Обвалы – осыпи / Landslides - rockslides	Морены / Moraines	Сели / Mudflows	Оползни / Landslides
13	Рельеф с углами наклона 15-20° по генетическим типам грунтов, процессы / Relief with slope angles 15-20° by genetic types of soils, processes	Обвалы – осыпи / Landslides - rockslides	Обвалы – осыпи / Landslides - rockslides	Сели / Mudflows	Оползни / Landslides
14	Рельеф с углами наклона >20° по генетическим типам грунтов. Процессы / Relief with slope angles >20° by genetic soil types, processes	Обвалы – осыпи / Landslides - rockslides	Обвалы – осыпи / Landslides - rockslides	Сели / Mudflows	Оползни / Landslides
15	Мощность четвертичных отложений 0-5 м, при разных углах наклона рельефа, град / Quaternary sediment thickness 0-5 m, at different slope angles relief slope, deg	12-15	15-20	20-25	>25
16	Мощность четвертичных отложений 5-12 м, при различных углах наклона рельефа, град / Quaternary sediment thickness 5-12 m, at different relief slope angles, deg	12-15	15-20	20-25	>25
17	Мощность четвертичных отложений более 12 м, при различных углах наклона рельефа, град / Quaternary sediment thickness more than 12 m, at different relief slope angles, deg	12-15	15-20	20-25	>25
18	Сели за год, объемом от 10 тыс. м³ и более, N / Selye per year, volume from 10 thousand m³ and more, N	1	3	5	>5
19	Оползни за год, объем, V, м³ / Landslides per year, volume, V, m³	10	50	100	>100
20	Обвалы – осыпи, объем, V, тыс. м³ / Landslides - rockslides, volume, V, m³	75	100	150	>150
21	Плоскостной смыв, на один км², S, км² / Flat flush, per km², S, km²	0,05	0,07	0,10	>0,10
22	Эрозионная деятельность рек «боковая эрозия», 1 м/час / Erosion activity of rivers “lateral erosion”, 1 m/hour	1,0	2,5	4,0	>4,0
23	Солифлюкция при мощности захвата процессом по вертикали, h, м / Solifluction at capturing power by the process vertically, h, m	1,0	2,0	4,0	>4,0

24	Струйная эрозия на склонах с углами рельефа, град / Stream erosion on slopes with relief angles, deg	20	25	30	>30
25	Карстообразование, проявления на км ² площади, N / Karst formation, occurrences per km ² area, N	1	2	3	>3
26	Лавины, за год, N / Avalanches, per year, N	1	2	3	>3
27	Ледники и глетчеры, события паводкового типа, за год, N / Glaciers and glaciers, events of flood type, per year, N	1	2	3	>3

Таким образом, реализуется ранжирование рисков потенциала воздействий на геоэкологическое состояние высокогорных территорий по уровням их проявления от литологических, геоморфологических, эндогенных, экзогенных геологических и природно-климатического факторов или условий [Бондаренко и др., 2020; Стогний и др., 2019].

Обсуждение результатов

Участок №1 (рис. 3, обозначен белым квадратом) находится в долине реки Цариитдон в узком ущелье, сложенном коллювиальными и пролювиальными отложениями, накапливавшимися при диагенезе на коренных интрузиях кайнозоя. При сопоставлении состояния участка 1 во временном периоде 8 лет (рис. 3а, б) хорошо видно, что на космоснимке 2024 года участка 1 видны новые строения, находящиеся непосредственно в регрессивной зоне, что говорит о высоком потенциальном риске развития опасных геоэкологических процессов.

Геоэкологические нагрузки, согласно введенной ранее классификации [Чотчаев и др., 2020] на основе использования экспертных оценок, условно подразделяются на слабые, средние, высокие и регрессивные. Термин «регрессионный» был введен ранее в качестве показателя неустойчивости и опасного состояния толщи с высокой геоэкологической опасностью и риском [Чотчаев и др., 2021; Заалишвили, Чотчаев, 2022].



Рис. 3. Геоморфологические особенности участка 1: а) 2016 год, б) 2024 год /

Fig. 3. Geomorphologic features of site 1: (a) 2016, (b) 2024

Наиболее активно экзогенные процессы проявляются весной во время паводков, когда происходит активный перенос материала. При наложении карты геоэкологической нагрузки (рис. 4) хорошо видно преобладание регрессионного уровня, свидетельствующего об усиленном осадконакоплении и возможных опасных геоэкологических рисках проявления оползней и селей на участке 1.

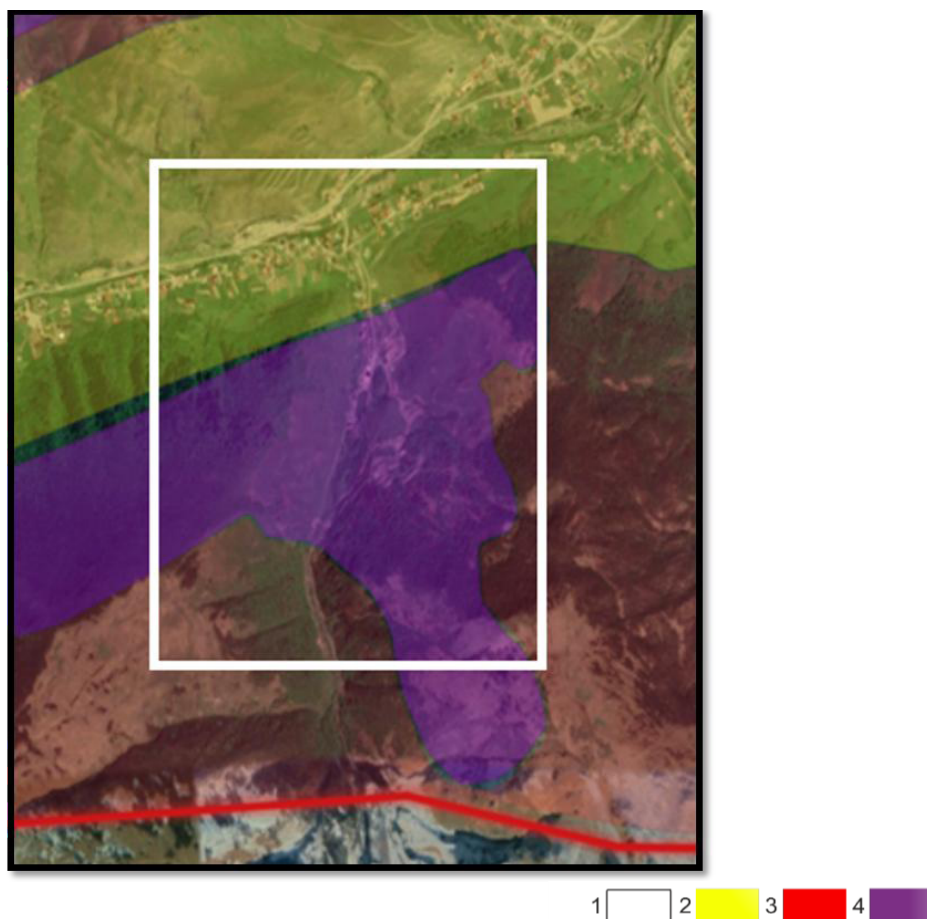


Рис. 4. Геоэкологические нагрузки на участке 1.
1 – слабая нагрузка, 2 – средняя нагрузка, 3 – высокая нагрузка,
4 – регрессивная нагрузка /

Fig. 4. Geo-ecological loads at site 1.
1 – weak load, 2 – medium load, 3 – high load, 4 – regressive load

Участок 2 находится в долине реки Фиагдон, где левый склон образовался из древних палеооползней, с начинающими свое образование эрозионными врезами, и состоит из четвертичных отложений и подстилающих их аргиллитов и алевролитов юрского периода. Палеооползни можно полагать устойчивыми, и для их активизации необходима аккумуляция много большего объема осадочного материала и более активная эрозия вдоль подошвы оползня. На космоснимках участка 2 за 2024 г. (рис. 5) хорошо видно, что появилось большое число новых строений, склоны палеооползней подрезаны дорогами и застройками, в некоторых местах вдоль эрозионных врез, тем самым нарушая естественный эрозионный процесс, и соответственно ускоряя его.



Рис. 5. Геоморфологические особенности участка 2: а) 2016 год, б) 2024 год /

Fig. 5. Geomorphologic features of site 2: (a) 2016, (b) 2024

При наложении на космоснимок соответствующих факторов геоэкологической нагрузки (рис. 6) видно, что участок находится в средней зоне по уровню геоэкологической нагрузки, соответствующей расположению палеоползней, что может говорить о возможной активизации процессов при аномальных метеорологических условиях (сильные продолжительные дожди, паводки, увеличение уровня рек).

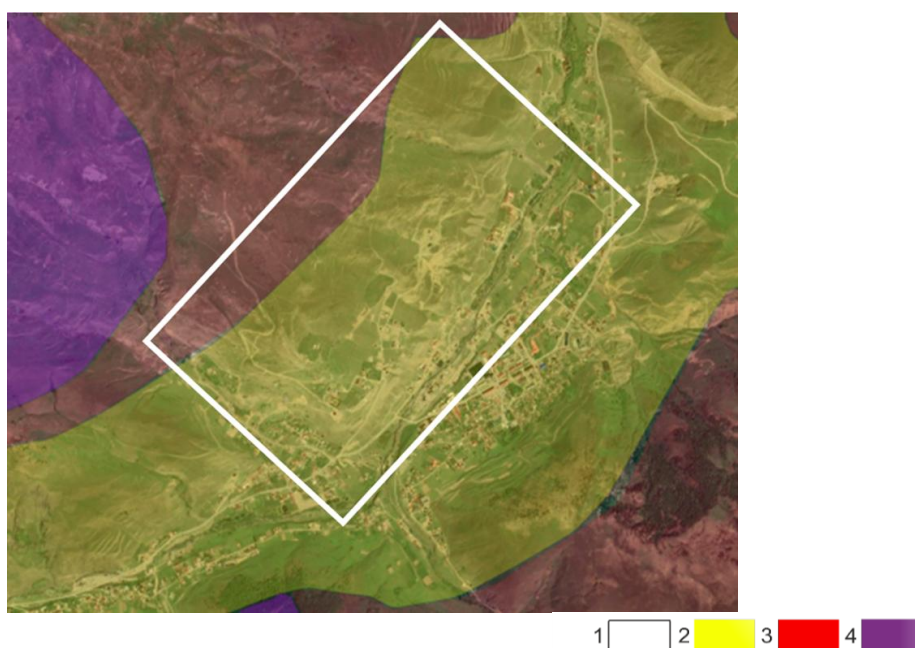


Рис. 6. Геоэкологические нагрузки на участке 2.

1 – слабая нагрузка, 2 – средняя нагрузка, 3 – высокая нагрузка, 4 – регрессивная нагрузка /

Fig. 6. Geo-ecological loads at site 2.

1 – weak load, 2 – medium load, 3 – high load, 4 – regressive load

Таким образом, на участках с дополнительными к природным антропогенными и техногенными воздействиями зона со слабой нагрузкой отсутствует (рис. 4 и 6) [Заалишвили, Чотчаев, 2022].

Климат в последние десятилетия заметно меняется, находясь, очевидно, на пути к очередному повышению температур. Так, если в 1968 г. максимальная температура, например, в г. Махачкале составляла 38 °С, а в 1983 г. она упала до 34 °С, то к 2020 году температура вновь повысилась до 40 °С. Аналогично ведет себя среднее значение температуры, например, в г. Ставрополе. Так, в теплый период 1952 г. (апрель–октябрь) ее значение составило 18 °С, а с 1953 до 1990 - 16 °С, то к 2020 г. температура вновь повысилась, и в среднем составила 19 °С. Необходимо отметить, что почти аналогично ведут себя колебания средней температуры и в холодное время года (ноябрь–март) [Глобальное ..., 2021].

Горные массивы не только влияют на климат, но и сами зависят от него. Более того, горные регионы одними из первых реагируют на изменения климатических условий. При этом основным индикатором изменения климата в горах являются ледники, которые уменьшаются или увеличиваются в объеме. Таким надежным индикатором, в частности, являются ледники Северной Осетии [Ледник Колка ..., 2014]. Указанные изменения, очевидно, непосредственно влияют на увеличение геоэкологической нагрузки (удлинение сезона паводков), что является негативным фактором. Таким образом, большое значение начинает обретать климатический фактор.

Для безопасного использования инфраструктуры необходимо оценивать уровень воздействия геодинамической активности геотектонических и геоморфологических структур на этих территориях с помощью новейших программ для создания 3D-моделей и анализа ситуации на территориях (Scoops3D и т.д.) [Мельков, Реватов, 2021]. Для строительства в горном регионе необходимо проводить детальные геофизические исследования и геолого-инженерные изыскания, что позволит исключить катастрофические последствия при возможной активизации экзогенных и иных процессов.

Выводы

1. Территория Северной Осетии характеризуется целым рядом опасных геологических процессов (вулканы, землетрясения, ледники, оползни, лавины, наводнения и др.). Активное развитие туризма на Северном Кавказе, создание новых горных маршрутов для автотранспорта, застройка ранее неиспользуемых горных территорий, обуславливают стремительное увеличение уровня антропогенного и техногенного воздействия и, соответственно, геодинамического воздействия, обуславливая повышение геоэкологической опасности и риска в горных регионах. Это обуславливает необходимость их детального изучения.

2. Эндогенная активность является причинным фактором активизации экзогенных процессов и одним из признаков этого является устойчивая приуроченность последних к тектоническим нарушениям и узлам разноранговых разрывных структур, очаговым зонам сейсмической и вулканоплутонической активности.

3. На горные регионы значительное влияние оказывают различные проявления техногенных воздействий. Такие дополнительные к природным антропогенные и техногенные воздействия исключают слабые геоэкологические нагрузки. Обособленное воздействие техногенных процессов как частного фактора антропогенеза, способствующего негативному воздействию на ландшафт и геоморфологические структуры, а также на геологические условия территории, повышает уровень геоэкологической напряженности вплоть до опасного.

4. Горные массивы не только влияют на климат, но и сами зависят от него. Более того, горные регионы одними из первых реагируют на изменения климатических условий. При этом основным индикатором изменения климата в горах являются ледники, которые уменьшаются или увеличиваются в объеме. Таким надежным индикатором, в частности, являются ледники Северной Осетии.

5. Для безопасного использования разрабатываемой инфраструктуры необходимо выявление факторов, формирующих уровень воздействия геодинамических процессов. При инженерно-геологических изысканиях рекомендовать установление глубинных причинно-следственных связей на исследуемой площадке между воздействиями геодинамических процессов и геоэкологическими рисками, что позволит смягчить или исключить при проведении практического строительства катастрофические последствия, обусловленные возможной активизацией экзогенных процессов.

6. Экспертная оценка ожидаемого уровня геоэкологического риска предполагает возможность прогнозирования опасных геологических процессов и является основой для разработки и организации необходимых мероприятий по смягчению тяжести возможных последствий развития опасных природных процессов и проявления опасных экзогенных процессов: оползней, селей, обвалов при строительстве.

Литература

1. Агибалова В.В. Сели в Северной Осетии. Орджоникидзе: Ир, 1983. – 115 с.
2. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций РФ. Южный федеральный округ. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2007. – 384 с.
3. Бондаренко Н.А., Любимова Т.В., Стогний В.В. Интегральная оценка потенциальных геологических рисков Краснодарского края. // ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС. – 2020. – Т. 26. № 2. – С. 188–200.
4. Бурдзиева О.Г., Мельков Д.А., Ревазов М.О. Модели протекания опасных геологических процессов и оценка ожидаемых масштабов их проявления. // Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». М.: ИИЕТ РАН, 2023. – С. 229–236.
5. Глобальное изменение климата и Северо-Кавказский федеральный округ. На пути к адаптации. Климатический центр Росгидромета. С.–Пб.: Наукоемкие технологии, 2021. – 12 с.
6. Гольцман Ф.М. Информационная содержательность эксперимента и учет корреляции нечисловых признаков при распознавании геофизических объектов. // Физика Земли. – 1980. – № 10. – С. 71–85.
7. Гольцман Ф.М. Комплексирование наблюдений при распознавании геофизических объектов. // Физика Земли. – 1976. – № 7. – С. 40–54.
8. Гончаренко О.А., Заалишвили В.Б., Караев Ю.И., Никитин М.Ю. Опасные геологические процессы Северного Кавказа. // В сборнике: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2008. – С. 160–166.
9. Заалишвили В.Б. Методологические аспекты сейсмического микрорайонирования. // Теория сооружений и сейсмостойкость. ИСМИС им. К.С. Завриева АН Грузии. – Тбилиси, 2000. – С. 182–188.
10. Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2022. – 230 с.
11. Ледник Колка: вчера сегодня, завтра: монография. / Отв. редакторы Ю.Г. Леонов, В.Б. Заалишвили. – Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2014. – 432 с.

12. Мельков Д.А., Ревазов М.О. Оценка потенциальной оползневой опасности территории РСО-Алания по геоморфологическим и геологическим данным. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2021. – № 2 (85). – С. 48–54.
13. Стогний В.В., Стогний Г.А., Волкова Т.А., Любимова Т.В. Геоэкологические риски Северо-Западного Кавказа и их оценка. // Материалы VII Международной конференции «Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии». Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2019. – С. 768–772.
14. 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.
15. 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.
16. Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О. Геолого-геофизическая система «тектоника-сейсмичность» уникального Хаилинского центра высокомагнитудного роя. Юго-запад Корякского сейсмического пояса. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 4. – С. 49–62.
17. Hamzehloo H., Vaccari F., Panza G.F. Towards a reliable seismic microzonation in Tehran, Iran. // *Engineering Geology*. – 2007. – Vol. 93. – pp. 1–16.
18. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Melkov D.A. Landslide risk in mountain areas. // *Geology and Geophysics of Russian South*. – 2019. – Vol. 9. No. 2. – pp. 109–126.
19. Walling M.Y., Mohanty W.K. An overview on the seismic zonation and microzonation studies in India. // *Earth-Science Reviews*. – 2009. – Vol. 96. – pp. 67–91.
20. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Shempelev A.G., Melkov D.A., Burdzieva O.G., Parada S.G., Dzeranov B.V., Dzhgamadze A.K. Geodynamic situation in Central Caucasus and structural complexes on depth section of Genaldon profile. // *Advances in Engineering Research*. (CIGGG 2018). – 2019. – Vol. 182. – pp. 1–7.
21. Zaalishvili V.B., Gogmachadze S.A. Geomorphological aspects of earthquake intensity effect in highlands earthquake hazard and seismic risk reduction. Kluwer academic Publishers. – Dordrecht/Boston/London, 2000. – pp. 137–144.

References

1. Agibalova V.V. Mudflows in North Ossetia. Ordzhonikidze. Ir. 1983. 115 p.
2. Atlas of natural and technogenic hazards and risks of emergency situations of the Russian Federation. Southern Federal District. Moscow. Design. Information. Cartography. 2007. 384 p.
3. Bondarenko N.A., Lyubimova T.V., Stogniy V.V. Integrated assessment of potential geological risks in the Krasnodar Region. INTERCARTO. INTERGIS. 2020. Vol. 26. No. 2. pp. 188–200.
4. Burdzieva O.G., Melkov D.A., Revazov M.O. Models of dangerous geological processes and assessment of the expected scale of their manifestation. // In: Proceedings of the XIII All-Russian Sc. and Tech. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Moscow. IIET RAS. 2023. pp. 229–236.
5. Global climate change and the North Caucasian Federal District. On the way to adaptation. Climate Center of Roshydromet. Saint Petersburg. Science-intensive technologies. 2021. 12 p.
6. Goltsman F.M. Information content of the experiment and consideration of correlation of non-numerical features in the recognition of geophysical objects. *Physics of the Earth*. 1980. No. 10. pp. 71–85.
7. Goltsman F.M. Compiling observations in recognizing geophysical objects. *Physics of the Earth*. 1976. No. 7. pp. 40–54.
8. Goncharenko O.A., Zaalishvili V.B., Karaev Y.I., Nikitin M.Y. Dangerous geologic processes of the North Caucasus. In: Proc. Dang. nat. and tech. geological processes in mountainous

and foothill areas of the North Caucasus. Vladikavkaz. CGI VSC RAS and RNO-A. 2008. pp. 160–166.

9. Zaalishvili V.B. Methodological aspects of the seismic microzonation. Theory of Structures and Earthquake Resistance. ISMIS named after K.S. Zavriev. Academy of Sciences of Georgia. Tbilisi. 2000. pp. 182–188.

10. 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.

11. The Kolka Glacier: past, present, future. Eds. Y.G. Leonov, V.B. Zaalishvili. Vladikavkaz. CGI VSC RAS and RNO-A. 2014. 432 p.

12. Melkov D.A., Revazov M.O. Assessment of potential landslide hazard of the territory of RNO-Alania based on geomorphologic and geologic data. Proceedings of the Institute of Geology of the DSC RAS. 2021. No. 2(85). pp. 48–54.

13. Stogniy V.V., Stogniy G.A., Volkova T.A., Lyubimova T.V. Geoecological risks of the North-West Caucasus and their assessment. In: Proc. of the VII Int. Conf. Dang. nat. and tech. processes in mountain regions: models, systems, technologies. Vladikavkaz. GPI VSC RAS. 2019. pp. 768–772.

14. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high-mountainous areas. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10. No. 4. pp. 70–100.

15. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Zoning of high-mountain territories by geoecological loads caused by geodynamic and climatic impacts. Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 81–94.

16. Yarotskii G.P., Chotchaev Kh.O. Geological and geophysical system “tectonics-seismicity” of the unique Khailinsk center of high-magnitude swarm. South-west of the Koryak seismic belt. Geology and Geophysics of Russian South. 2019. Vol. 9. No. 4. pp. 49–62.

17. Hamzehloo H., Vaccari F., Panza G.F. Towards a reliable seismic microzonation in Tehran, Iran. Engineering Geology. 2007. Vol. 93. pp. 1–16.

18. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Melkov D.A. Landslide risk in mountain areas. Geology and Geophysics of Russian South. 2019. Vol. 9. No. 2. pp. 109–126.

19. Walling M.Y., Mohanty W.K. An overview on the seismic zonation and microzonation studies in India. Earth-Science Reviews. 2009. Vol. 96. pp. 67–91.

20. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Shempelev A.G., Melkov D.A., Burdzieva O.G., Parada S.G., Dzeranov B.V., Dzhgamadze A.K. Geodynamic situation in Central Caucasus and structural complexes on depth section of Genaldon profile. Advances in Engineering Research. (CIGGG 2018). 2019. Vol. 182. pp. 1–7.

21. Zaalishvili V.B., Gogmachadze S.A. Geomorphological aspects of earthquake intensity effect in highlands earthquake hazard and seismic risk reduction. Kluwer academic Publishers. Dordrecht/Boston/London. 2000. pp. 137–144.