ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.2.01
DOI: 10.46698/VNC. 2021.15.66.007

Оригинальная статья

Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями

Х. О. Чотчаев, О. Г. Бурдзиева, В. Б. Заалишвили

Геофизический институт Владикавказского научного центра
Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ,
ул. Маркова, 93а, e-mail: chotho@yandex. ru

Статья поступила: 26.01.2021, после рецензирования: 25.02.2021, принята к публикации: 05.03.2021

Резюме: Актуальность работы. Геотектонические, литологические и ландшафтно-морфологические особенности территорий, функционирующих туристско-рекреационных комплексов Центрального Кавказа, определяют платформенный характер развития Скифской плиты, южной окраиной вовлеченной совместно с причлененными микроплитами-террейнами (Предкавказская, Бечасынская, Восточно-Кавказская) в горообразовательный процесс Большого Кавказа. Иной характер геологического развития претерпели территории южного склона Большого Кавказа, вовлеченные в горообразовательный процесс как океанические плиты – террейны (Закавказская плита, Южная микроплита – сложенные толщей чередующегося флиша глинистых сланцев с прослоями песчаников, мергелей, известняков). Прижатая к жесткой Скифской плите с юга Закавказской плитой, подпираемой Аравийской платформой, Южная микроплита подверглась интенсивной деформации, глубинным тектоническим проявлениям субширотной ориентировки, являющимся каналами активного проявления эндогенных геодинамических процессов. Создание туристско-рекреационного комплекса на Южном склоне Центрального Кавказа предполагает прогноз темпов геоэкологической эволюции в условиях активной геодинамики и интенсивного проявления опасных геологических процессов. **Цель исследований** – зонирование интенсивностей уровней геоэкологических нагрузок геодинамических и климатических воздействий для дифференцированного целевого использования соответствующих площадей. В процессе исследований выявлены геодинамические и климатические факторы, характерные для территории и реализовано ранжирование интегральных воздействий на исследуемой территории. **Методика** заключалась в разбиении территории на элементы площади размерами 4×4 кв. км, учете значимых факторов воздействия на элемент площади и суммировании интенсивностей, определяемых экспертными оценками ранжирования, обусловленных каждым из природных воздействий. В процессе решения **задач** были определены геодинамические и климатические факторы, характерные для территории; дифференцированы геотектонические и геоморфологические условия их проявления; проведена экспертная оценка интенсивности воздействия каждого фактора по пятибалльной системе и установлен суммарный максимально возможный потенциал воздействия. **Результаты** исследований стали основой составления соответствующей карты – схемы зонирования исследуемой территории на зоны с интенсивностями, характеризующими различные уровни геоэкологической нагрузки.

Ключевые слова: Южный склон, Центральный Кавказ, опасные геодинамические процессы, геоэкологическая нагрузка, зонирование.

Для цитирования: 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. 11 (1): 81 – 94. DOI: 10.46698/VNC. 2021.15.66.007.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: 10.46698/VNC. 2021.15.66.007

Original paper

Zoning of high mountainous areas by geoecological loads caused by geodynamic and climatic influences

Kh. O. Chotchaev, O. G. Burdzieva, V. B. Zaalishvili

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

Reseived: 26.01.2021, revised: 25.02.2021, accepted: 05.03.2021

Abstract: Relevance. The geotectonic, lithological and landscape-morphological features of the territories where tourist and recreational complexes are functioning in the Central Caucasus determine the platform nature of the development of the Scythian plate. The southern margin of this plate is involved, together with the attached microplate-terranes (Ciscaucasia, Bechasynskaya, East Caucasian), in the mountain-forming process of the Greater Caucasus. The territories of the southern slope of the Greater Caucasus, involved in the mountain-forming process as oceanic plates – terranes (Transcaucasian plate, South microplate – folded by a layer of alternating flysch of clay shales with interlayers of sandstones, marls, limestones) have undergone a different character of geological development. The Southern microplate is pressed against the rigid Scythian plate from the south by the Transcaucasian plate, supported by the Arabian platform. It has undergone intense deformation, deep tectonic manifestations of sublatitudinal orientation, which are channels for the active manifestation of endogenous geodynamic processes. The creation of a tourist and recreational complex on the southern slope of the Central Caucasus presupposes a forecast of the geoecological evolution rate in conditions of active geodynamics and intensive manifestation of dangerous geological processes. **The Aim** of the study is the zoning of the intensity levels of the geoecological loads of geodynamic and climatic influences for the differentiated target use of the corresponding areas. In the course of research, geodynamic and climatic factors characteristic for the territory were identified and the ranking of integral impacts on the studied territory was implemented. **The methods** consisted in dividing the territory into area elements of 4×4 square km., taking into account the significant factors of influence on the element of the area and summing up the intensities determined by expert estimates of the ranking caused by each of the natural impacts. In the process of solving the problems, the geodynamic and climatic factors characteristic for the territory were determined; differentiated geotectonic and geomorphological conditions of their manifestation; an expert assessment of the intensity of the impact of each factor was carried out according to a five-point system and the total maximum possible impact potential was established. **Results** of the study became the basis for the compilation of the corresponding map – the zoning scheme of the study area into zones with intensities characterizing different levels of geoecological load.

Keywords: Southern slope, Central Caucasus, dangerous geodynamic processes, geoecological load, zoning.

For citation: Chotchaev Kh. O., Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B. Zoning of high mountainous areas by geoecological loads caused by geodynamic and climatic influences. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (1): 81 – 94. DOI: 10.46698/VNC. 2021.15.66.007.

Введение

Рассматривая земную поверхностную оболочку не только как среду генерирующую энергию за счет биологической деятельности [Вернадский, 1967], но и как область воздействия активных неорганических агентов эндогенной природы, не-

трудно объяснить природу, масштабы и темпы возникновения современной коры выветривания, широкое развитие четвертичных образований, составляющих основу большинства опасных геологических процессов.

Длительное разрушающее воздействие статических напряжений и физико-химических полей на породы определяют причинно-следственную зависимость эндогенных и экзогенных геодинамических процессов, подтверждением чего служит повсеместная приуроченность очагов опасных экзогенных процессов к активным тектоническим нарушениям и их линеаментам. Активные тектонические нарушения обладают к тому же биологическим действием через физические поля-индикаторы, влияющие не только на геоэкологию территории, но и на экологическую эволюцию [Cesnulevicius, 2005; Gentili et al., 2010; Pope et al., 2010].

Интенсивность геодинамического воздействия зависит от геодинамической активности литосферы (эндогенная геодинамика), литологического состава осадочного чехла, условий взаимодействия геологической среды с атмосферой, климатических изменений (экзогенная геодинамика). Геодинамические и климатические процессы определяют геоэкологическое состояние среды обитания и эволюцию Земли в целом. Критериями такой оценки рассматриваются сейсмичность (редко и тектонические подвижки) и пораженность территории экзогенными процессами [Абалаков, 2007; Спивак, Кишкина, 2004; Яроцкий, Чотчаев, 2016] как факторы доступные человеку для исследования. Но связь даже этих двух проявлений земной эволюции на тонком уровне (комплекса физических полей – деформационных, дислокационных, электромагнитных, геохимических, тепловых) остается неясной.

Анализ любого экзогенного природного геологического процесса, независимо от агента воздействия, показывает, что объект к событию длительно подготавливается эндогенным геодинамическим воздействием, выраженным различными факторами [Persaud, Pfiffner, 2004].

Одним из главных факторов широкого развития четвертичных отложений является длительное воздействие эндогенных процессов на коренные породы и формирование современной коры выветривания. Далее начинается экзогенный процесс ее разрушения и переотложения [Dill, 1994; Пхарое, Евдокимов, 2020].

Уровень воздействия на геоэкологическую среду эндогенных и экзогенных геодинамических процессов характеризуют широко развитые по площади различные генетические типы четвертичных образований, формирующие многочисленные очаги опасных экзогенных процессов [Guzzetti et al., 1999].

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 [Шемпелев, 2007; Шемпелев и др., 2015], отмечаемая на всем пространстве развития Альпийской складчатости.

Влиянием эндогенных процессов можно объяснить не только активизацию экзогенных геологических процессов, но и многие климатические изменения (локальные парниковые эффекты, альбедо, экспозиция, поглощение, рассеивание и многое другое) [Folguera et al., 2004]. Концепция климатических изменений за счет озоновых дыр, возникающих из-за выброса в атмосферу хлор- и фторсодержащих фреонов, выглядит уже не столь догматично, и параллельно рассматриваются геодинамические факторы климатической зависимости [Безверхний, 2019].

Объекты, представляющие очаги опасных геологических процессов, связанные с ледниками и ледовокаменными глетчерами типичны для высокогорных районов

современных альпид. Они в геоэкологических преобразованиях играют значительную роль динамическим воздействием разрушительного характера (глубокие рытвины, оголенные склоны, скучивание крупнообломочного материала).

Постледниковый этап активного геодинамического воздействия отчетливо проявляется на участках абляции ледников, где обнажаются активные глубинные разломы. В их пределах, в виде коротких разрывов трещинного типа, возникают нарушения, кулисообразно расположенные к глубинному разлому, и составляющие с ними единые линеаменты, ориентированные согласно орогену. Эти нарушения возникают не за счет землетрясений, а как остаточные деформации в периоды сейсмического затишья. Наблюдения в Швейцарских Альпах показали, что максимальной скорости подъёма поверхности (1,6 мм/год), подвержены участки последними сбросившие ледяной панцирь [Newsome et al., 2013].

Новейшими проявлениями глубинных геодинамических процессов являются и сейсмотектонические разрывы, которые, как правило, тяготеют к крупнейшим тектоническим разрывам. Максимальная их концентрация фиксируется по Тибскому и Нарскому разломам. По протяженности и ширине полосы развития Нарская зона новейших сейсмотектонических разрывов не имеет себе равных на всем Северном Кавказе.

Основные геодинамические факторы и интенсивность их влияния на геоэкологическую ситуацию

Для количественной оценки геоэкологического воздействия геодинамических факторов сделана выборка всех проявляющихся геодинамических и климатических факторов [Masek et al., 1994; Sobel, Strecker, 2003; Hilley, Coutand, 2010; Varga et al., 2011; Yang, Eitel, 2016], интенсивность воздействия каждого из которых на окружающую среду оценена по пятибалльной системе. При этом в основе балльности рассматривается не сила сотрясения, а способность 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) ожидаемых длительных или краткосрочных последствий (тектонические, вулкано-плутонические проявления, землетрясения, сейсмдислокации). Принято, что воздействие на геоэкологическую ситуацию N факторов каждая интенсивностью в один ранг или единичный ранг соответствует наименьшему влиянию данного фактора на геоэкологическое состояние, а уровень 5 ранга – наибольшему.

Необходимо отметить, что при ранжировании геодинамических факторов присутствует элемент субъективизма, но с увеличением их числа, суммарная ошибка за субъективизм приближается к минимуму.

Для расчета риска R реализации воздействия использовалось следующее соотношение:

$$R = W \, x \, D \qquad (1)$$

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

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

Ri – риск проявления воздействия отдельного фактора Wi и реакция локальной площадки на воздействие данного фактора Di, соответственно,

Ri = Wi x Di, ранг.

$$R = \Sigma Ri \qquad (2)$$

Необходимо отметить, что при ранжировании геодинамического фактора присутствует элемент субъективизма, но с увеличением их числа, суммарная ошибка за субъективизм приближается к минимуму.

На основе геодинамических факторов, распространенных на исследуемой территории, составлены две таблицы. В таблице 1 приведены количественные характеристики воздействий геодинамических процессов на геоэкологическое состояние площадки, обусловленных литологическими, геоморфологическими, эндогенными, экзогенными геологическими и природно-климатическими факторами. В таблице 2 приведены результаты расчетов риска Ri проявления воздействия отдельного фактора с потенциалом Wi на площадку и ее геоэкологической уязвимостью Di на соответствующий фактор.

Таблица 1 / Table 1

Факторы воздействия геодинамических и климатических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий / Factors of geodynamic and climatic processes influence on the geoecological state of high-mountainous territories

№ п/п / No.	Виды воздействия / Types of influence	Уровень воздействия / Influence level			
		Слабый / Weak	Средний / Mean	Высокий / High	Регрессивный / Regressive
1	2	3	4	5	6
1	Землетрясения в ближней зоне (R=50 км), сейсмическая интенсивность в баллах / Earthquakes in the near zone (R = 50 km), seismic intensity in points	<6	6-7	7-8	8-9
2	Зона активного нарушения (плотность нарушений в км/км^2) / Active rupture zone (density of ruptures 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) / Zone of intersection of sub-latitudinal and sub-meridional ruptures from one to four and above (intersection)	1	2	3	4
4	Зона развития трещинной тектоники различной плотности в км/км^2 / Zone of fractural tectonics of different density propagation in km/km^2	0,03	0,05	0,07	0,09
5	Зоны, подверженные воздействию статических геофизических, геохимических полей в радиусе действия событий до 50 км, расстояние в км: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 / Zones exposed to static geophysical, geochemical fields within the range of events up to 50 km, distance in km: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50	3	4	5	6

6	Зоны проявления от одного до трех и более события сейсмодислокации в пределах структурного блока / Zones of one to three or more seismic dislocation events manifestation within a structural block	1	2	3	3
7	Распространение четвертичных образований на интервалах высот: 1700-2000; 2000-2300; 2300-2600; 2600 и выше / Distribution of Quaternary formations at the altitude intervals: 1700-2000; 2000-2300; 2300-2600; 2600 and higher	1700-2000	2000-2300	2300-2600	>2600
8	Коренные породы мягкие (до 50 МПа), обнаженность 40%; 50%; 60%; 70% и более / Soft bedrock (up to 50 MPa) with the exposure 40%; 50%; 60%; 70% and more	40%	50%	60%	70% и >
9	Базис эрозии 1000 м и более, на высотах от 2000 и выше, с учетом оледенения / Baselevel is 1000 m and more, at an altitude of 2000 and higher, taking glaciation into account	2000-2500	2500-3000	3300-3500	3500-4000
10	Базис эрозии 500 м на высотах от 1500 и выше / Baselevel is 500 m at an altitude of 1500 and higher	1500-1700	1700-1800	1800-1900	1900-2000
11	Базис эрозии до 500 м на высотах от 1500 м и ниже / Baselevel is 500 m at an altitude of 1500 and lower	1300-1500	1100-1300	1000-1100	>1000
12	Рельеф с углами наклона поверхности до 15° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles up to 15 ° according to genetic soil types	обвально-осыпные /	моренные отложения /	селевые /	оползневые /
13	Рельеф с углами наклона поверхности 15-20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles of 15-20° according to genetic soil types	обвально-осыпные /	обвально-осыпные /	селевые /	оползневые /
14	Рельеф с углами наклона поверхности >20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles > 20° according to genetic types of soils	обвально-осыпные /	обвально-осыпные /	селевые /	оползневые /
15	Мощность четвертичных отложений 0-5 м, при различных углах наклона, град. / Thickness of Quaternary sediments 0-5 m at different slope angles, degrees	12-15	15-20	20-25	25 и >
16	Мощность четвертичных отложений 5-12 м при различных углах наклона, град. / Thickness of the Quaternary sediments 5-12 m at different slope angles, degrees	12-15	15-20	20-25	25 и >
17	Мощность четвертичных отложений более 12 м, при различных углах наклона, град. / Thickness of the Quaternary sediments more than 12 m, at different slope angles, degrees	12-15	15-20	20-25	25 и >
18	Сели, от одного до 5 и выше за сезон, объемом от 10 тыс. м^3 и более / Mudflows, from one to 5 and more per season, with a volume of 10 thousand m^3 and more	2	3	4	5
19	Оползни в общем объеме за год от 10 тыс. м^3 до 2 млн м^3 / Landslides in total volume for the year from 10 thousand m^3 to 2 million m^3	50	75	100	150
20	Обвалы – осыпи до 5000 м^3 тыс. м^3 / Landslides – debris streams up to 5000 thousand m^3	75	100	150	200
21	Плоскостной смыв, площадью от 0,05 до 0,10 км^2 и выше на км^2 площади / Sheet wash, with an area of 0.05 to 0.10 km^2 and more per km^2 of area	0,05	0,06	0,07	>0,1

22	Эрозионная деятельность рек от 1 до 5 м/ч боковой эрозии / Erosivity of rivers from 1 to 5 m/h of lateral erosion	1,0	2,5	4,0	5,0
23	Солифлюкция при мощности захвата процессом по вертикали от 1-го до 4-х метров / Solifluction with a vertical capture thickness from 1 to 4 meters	1,0	2,0	3,0	4,0
24	Струйная эрозия на склонах 20° и более / Channel erosion on the slopes of 20° or more	20	25	30	35 и >
25	Карстообразование, от одного до трех и выше проявлений на км^2 площади / Karstification from one to three and more events per km^2 area	1	2	3	>3
26	Лавины, до 4-х и более сходов за сезон / Avalanches, up to 4 and more falls per season	1	2	3	4
27	Ледники и глетчеры до трех и выше событий паводкового типа на территорию / Glaciers and gletchers up to three and more flood-type events per territory	1	2	3	>3

Таблица 2 / Table 2

Ранжирование воздействий геодинамических климатических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий / Ranking the influences of geodynamic climatic processes on the geoecological state of high-mountainous areas

№ п/п / No.	Виды воздействия / Types of influence	Весовой рейтинг события, W_{maxi} / Weight rating of an event, W_{maxi}	Уровень воздействия / Influence level			
			Слабый, Wi x Di / Weak, Wi x Di	Средний, Wi x Di / Mean, Wi x Di	Высокий, Wi x Di / High, Wi x Di	Регрессивный, Wi x Di / Regressive, Wi x Di
1	2	3	4	5	6	7
I Факторы эндогенного воздействия / Factors of the endogenous influence						
1	Землетрясения в ближней зоне (R=50 км), сейсмическая интенсивность в баллах / Earthquakes in the near zone (R = 50 km), seismic intensity in points	5	1	2	3,5	5
2	Зона активного нарушения (плотность нарушений в км/км^2) / Active rupture zone (density of ruptures in km/km^2)	3	1	1,5	1	3
3	Зона пересечения субширотных и субмеридиональных нарушений от одного до четырех и выше (пересечение) / Zone of intersection of sub-latitudinal and sub-meridional ruptures from one to four and above (intersection)	4	1	2	3	4
4	Зона развития трещинной тектоники 0,03 до 0,10 км/км^2 и выше / Zone of fractural tectonics of different density propagation in km/km^2	5	1	2	3,5	5

5	Зоны, подверженные воздействию статических геофизических, геохимических полей в радиусе действия событий до 50 км, расстояние в км: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 / Zones exposed to static geophysical, geochemical fields within the range of events up to 50 km, distance in km: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50	2	1	1	2	2
6	Зоны проявления от одного до трех и более события сейсмодислокации в пределах структурного блока / Zones of one to three or more seismic dislocation events manifestation within a structural block	3	1	2	3	3
II Литологические факторы / Lithological factors						
7	Коренные породы мягкие (до 50 МПа), обнаженность 40%; 50%; 60%; 70% и более / Soft bedrock (up to 50 MPa) with the exposure 40%; 50%; 60%; 70% and more	3	1	1,5	2	3
8	Базис эрозии 1000 м и более, на высотах от 2000 и выше, с учетом оледенения / Baselevel is 1000 m and more, at an altitude of 2000 and higher, taking glaciation into account	3	1	1,5	2	3
III Геоморфологические факторы / Geomorphological factors						
9	Базис эрозии до 500 м на высотах от 1500 м и ниже / Baselevel is 500 m at an altitude of 1500 and lower	4	4	3	2	1,5
10	Рельеф с углами наклона поверхности до 15° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles up to 15 ° according to genetic soil types	3	1	1,5	2	3
11	Рельеф с углами наклона поверхности 15-20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles of 15-20° according to genetic soil types	2	1	1,5	2	2
12	Рельеф с углами наклона поверхности >20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles > 20° according to genetic types of soils	2	1	1	2	2
13	Рельеф с углами наклона поверхности >20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles > 20° according to genetic types of soils	3	1	1,5	2,5	3

14	Зона активного нарушения (плотность нарушений в км/км^2) / Active rupture zone (density of ruptures in km/km^2)	4	2	2,5	3	4
IV Факторы экзогенного и природно-климатического характера / Factors of exogenous and natural-climatic character						
15	Мощность четвертичных отложений 0-5 м, при углах наклона 12-25° и более / Thickness of Quaternary sediments 0-5 m at slope angles of 12-25° and more	2	1	1	1,5	2
16	Мощность четвертичных отложений 5-12 м, при углах наклона 12-25° и более / Thickness of Quaternary sediments 5-12 m at slope angles of 12-25° and more	3	1	1	2	3
17	Мощность четвертичных отложений более 12 м, при углах наклона 12-25° и более / Thickness of Quaternary sediments over 12 m at slope angles of 12-25° and more	3	1	1,5	1,5	3
18	Сели, от одного до 5 и выше за сезон, объемам от 10 тыс. м^3 и более / Mudflows, from one to 5 and more per season, with a volume of 10 thousand m^3 and more	5	2	3	4	5
19	Оползни в общем объеме за год от 10 тыс. м^3 до 2 млн. м^3 / Landslides in total volume for the year from 10 thousand m^3 to 2 million m^3	3	1	1,5	2	3
20	Обвалы – осыпи до 5000 м^3 тыс. м^3 / Landslides – debris streams up to 5000 thousand m^3	4	1,5	2	3	4
21	Плоскостной смыв, площадью от 0,05 до 0,10 км^2 и выше на км^2 площади / Sheet wash, with an area of 0.05 to 0.10 km^2 and more per km^2 of area	3	1	1	2	3
22	Эрозионная деятельность рек от 1 до 5 м /час боковой эрозии /	4	1,5	2,5	3	4
23	Солифлюкция при мощности захвата процессом по вертикали от 1-го до 4-х метров / Solifluction with a vertical capture thickness from 1 to 4 meters	3	1	1,5	2,5	3
24	Струйная эрозия на склонах 20° и более / Channel erosion on the slopes of 20° or more	3	1	1,5	2,5	3
25	Карстообразование, от одного до трех и выше проявлений на км^2 площади / Karstification from one to three and more events per km^2 area	3	1	1,5	2	3

26	Лавины, до 4-х и более сходов за сезон / Avalanches, up to 4 and more falls per season	5	2	3	4	5
27	Ледники и глетчеры до трех и выше событий паводкового типа на территорию / Glaciers and gletchers up to three and more flood-type events per territory	4	1,5	2,5	3	4
Сумма максимальных воздействий факторов $W=\Sigma W_{maxi}$ и суммы рисков $R=\Sigma Ri$, ранг / The sum of the maximum impacts of factors $W=\Sigma W_{maxi}$ and the sum of the risks $R = \Sigma Ri$, rank		95	34,5	48,0	64,0	91,5
Уязвимость D = R/W или геоэкологическое состояние площадки / Vulnerability D = R/W or geoecological state of the site		1	0,363	0,505	0,674	0,964

Зонирование геоэкологической нагрузки (рис. 1) проведено на основе весового вклада каждого из факторов, которые составили 4 центроидные группы: нагрузка слабая, 30-40%; нагрузка средняя, 40-55%; нагрузка высокая, 55-70%; нагрузка регрессивная, выше 70%. Расчеты выполнялись для 105 таксонов (4×4 км) в ГИС-технологиях [Zaalishvili, 2020a, 2020b].

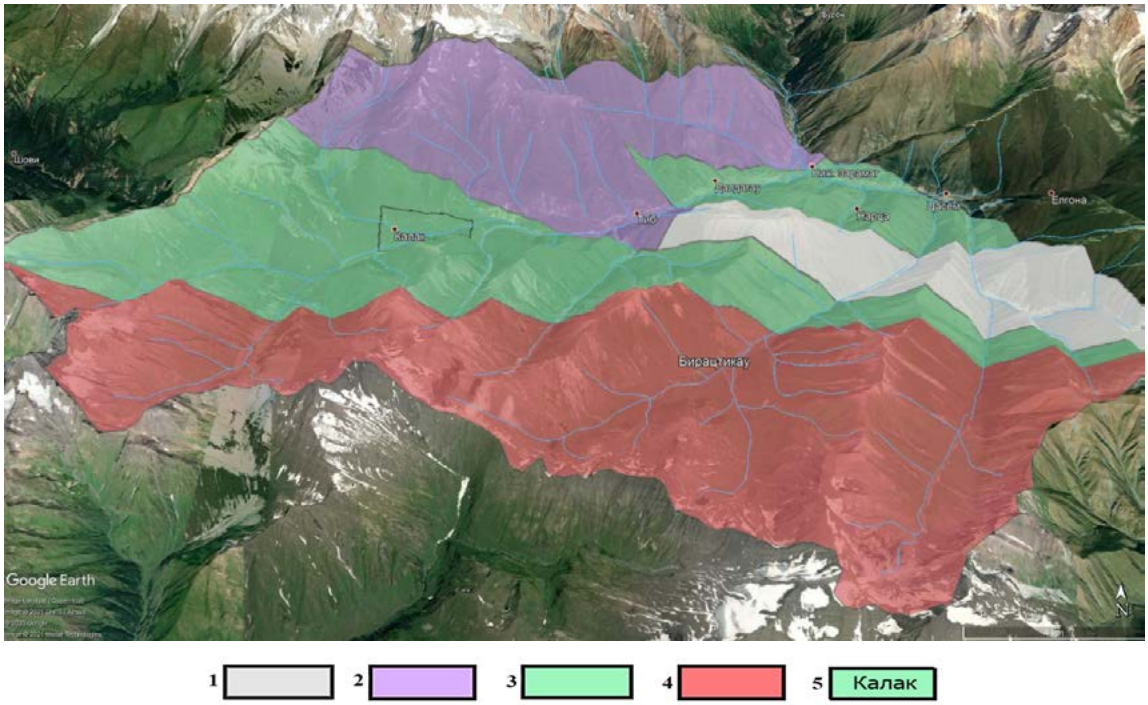

Рис. 1. Схема зонирования интенсивности геоэкологической нагрузки на высокогорной территории.
Уровни геоэкологической нагрузки от геодинамических воздействий: 1 – слабый; 2– средний; 3 – высокий; 4 – регрессивный /
Fig. 1. Zoning scheme of the intensity of the geoecological load in the high-mountainous territories.
Levels of geoecological load from geodynamic influences: 1 – weak; 2 – mean; 3 – high; 4 – regressive

При зонировании территории по степени геоэкологической нагрузки использованы данные блоковой дифференциации территории и развития активных тектонических нарушений [Несмеянов, 2003] Казбекского сегмента мегасвода Большого Кавказа и современная неотектоника, выявленная под покровом четвертичных отложений геофизическими исследованиями [Чотчаев, 2020].

Выводы

1. Устойчивая приуроченность проявлений опасных экзогенных геологических процессов к активным глубинным тектоническим нарушениям и связанной с ними трещинной тектонике постледникового проявления неотектонической активности подтверждает определяющую роль эндогенных процессов в активизации экзогенных процессов и в интенсификации геоэкологической эволюции.

2. Зоны активных разломов территории представляют собой ослабленные зоны из-за повышенной раздробленности, трещиноватости, флюидопроницаемости, разуплотнения горных пород за счет массопереноса движущимися водами, выщелачивания, в пределах которых активно развиваются процессы эрозионного разрушения. Трещины и особенно зоны повышенной их концентрации, как и разломы, снижают прочностные свойства и повышают проницаемость рассекаемых ими пород и по этой причине благоприятствуют развитию вдоль них целого генетического ряда экзогенных процессов и, как следствие, значительных геоэкологических нагрузок.

3. В табличном формате разработан комплекс типичных для территории геодинамических факторов эндогенного, экзогенного типов геологической природы и климатического характера, классифицированных по их максимальным расчетным воздействиям на геоэкологическую ситуацию в пятибалльной системе, сумма которых представляет потенциал возможной геоэкологической нагрузки на определенный таксон.

4. Для каждого из 105 таксонов (4×4 кв. км) территории на основе экспертных оценок рассчитана суммарная интенсивность геоэкологической нагрузки под воздействием геодинамических процессов с учетом геологических и геоморфологических условий развития. Объединение таксонов с близкими величинами позволило построить карту – схему, включающую четыре зоны с различной интенсивностью геоэкологической нагрузки. Особо выделяется зона с регрессивным проявлением воздействия, где уровень геоэкологической нагрузки значительно возрастает в результате одновременного воздействия геологических факторов различной природы.

Литература

1. Абалаков А. Д. Экологическая геология. – Иркутск: Изд-во Иркутского гос. ун-та, 2007. – С. 28-32.

2. Безверхний В. А. О 100 тысячелетней ритмичности в геодинамике и палеоклимате. // Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН. – 2019. – № 3. – С. 117-125.

3. Вернадский В. И. Биосфера. – М.: Мысль, 1967. – 227 с.

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. Спивак А. А., Кишкина С. Б. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды. // Физика Земли. – 2004. – № 7. – С. 35-49.

7. Шемпелев А.Г. Результаты глубинных геофизических исследований вдоль Геналдонского профиля. // Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ. – 2007. – С. 457-463.

8. Шемпелев А.Г., Кухмазов С.У., Чотчаев Х.О., Невский Л.Н. Структура Большого Кавказа – результат пологого надвига земной коры Скифской плиты на консолидированную кору микроплит южного Кавказа. // Геология и геофизика юга России. – 2015. – №4. – С. 129-145.

9. Несмеянов С.А., Боголюбова Н.П., Воейкова О.А., Миндель И.Г. Активные разрывы и разрывный крип на горной части трассы магистрального трубопровода «Голубой поток». // Геоэкология. – 2003. – №5. – С. 387-404.

10. Пхарое Б.Л., Евдокимов А.Н. Состав и реконструкция источников сноса терригенных отложений на северо-западе ЮАР. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №4. – С. 124-149. DOI: 10.46698/VNC. 2020.48.31.008.

11. 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.

12. Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О. Тектоническая предопределенность Хаилинского землетрясения на Юго-Западе Корякского нагорья. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №4. – С. 129-140.

13. Cesnulevicius A. Relief dynamic state of urban territories and tendency of its development. // 6Th International Conference Environmental Engineering. – 2005. – Vol. 1-2. – pp. 63-68.

14. Dill H.G. Facies variation and mineralization in central-Europe from the late Paleozoic through the Cenozoic. // Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. – 1994. – Vol. 89 (2). – pp. 268-287. https://doi. org/10.2113/gsecongeo. 89.2.268

15. Folguera A., Ramos V.A., Hermanns R.L., Naranjo J.A. Neotectonics in the foothills of the southernmost central Andes (37–38S): evidence of strike – slip displacement along the Atinir Copahue fault zone. // Tectonics. – 2004. – No. 23. doi:10.1029/2003TC001533.

16. Gentili R., Armiraglio S., Rossi G., Sgorbati S., & Baroni C. Floristic patterns, ecological gradients and biodiversity in the composite channels (Central Alps, Italy). // Flora. – 2010. – Vol. 205 (6). – pp. 388-398. https://doi. org/10.1016/j. flora. 2009.12.013

17. Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., & Reichenbach P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. // Central Italy. Geomorphology. – 1999. – Vol. 31 (1–4). – pp. 181-216; 1787, 2014.

18. Hilley G.E., Coutand I. Links between topography, erosion, rheological heterogeneity, and deformation in contractional settings: Insights from the central Andes. // Tectonophysics. – 2010. – Vol. 495 (1-2). – pp. 78-92. https://doi. org/10.1016/j. tecto. 2009.06.017

19. Masek J.G., Isacks B.L., Gubbels T.L., Fielding E.J. Erosion and tectonics at the margins of continental plateaus. // Journal of Geophysical Research. – 1994. – Vol. 99. – pp. 13941-13956.

20. Newsome D., Moore S.A., & Dowling R.K. Natural area tourism: Ecology, impacts and management (2nd ed.). – Bristol: Channel View Publications, 2013.

21. Persaud M., Pfiffner O.A. Active deformation in the eastern Swiss Alps: post-glacial faults, seismicity and surface uplift. // Tectonophysics. – 2004. – Vol. 385. – pp. 59-84.

22. Pope N., Harris T.B., & Rajakaruna N. Vascular plants of adjacent serpentine and granite outcrops on the Deer Isles, Maine, USA. // Rhodora. – 2010. – Vol. 112 (950). – pp. 105-141

23. Sobel E.R., Strecker M.R. Uplift, exhumation, and precipitation: tectonics and climatic control of Late Cenozoic landscape evolution in the northern Sierras Pampeanas, Argentina. // Basin Research. – 2003. – No. 15.

24. Varga A., Ujvari G., Raucsik B. Tectonic versus climatic control on the evolution of a loess-paleosol sequence at Beremend, Hungary: An integrated approach based on paleoecological, clay mineralogical, and geochemical data. // Quaternary International. – 2011. – Vol. 240 (1). – pp. 71-86. https://doi. org/10.1016/j. quaint. 2010.10.032

25. Yang, X. P., & Eitel, B. Understanding the Interactions between Climate Change, Landscape Evolution, Surface Processes and Tectonics in the Earth System: What Can the Studies of Chinese Deserts Contribute? [Article]. // Acta Geologica Sinica-English Edition. – 2016. – Vol. 90 (4). – pp. 1444-1454. https://doi. org/10.1111/1755-6724.12778

26. Zaalishvili V.B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O.G., Melkov D.A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. // Geology and Geophysics of Russian South. – 2020a. – Vol. 10 (3). – pp. 94-113. DOI: 10.46698/VNC. 2020.47.51.006.

27. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Fidarova M.I. GIS-technologies in geophysical information databases processing. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 913. – 2020b. – pp. 052050. doi:10.1088/1757-899X/913/5/052050

References

1. Abalakov A.D. Environmental geology. Irkutsk. Publishing house of the Irkutsk state University, 2007. pp. 28-32. (In Russ.)

2. Bezverkhnii V.A. About 100 thousand-year rhythm in geodynamics and paleoclimate. Institute of Atmospheric Physics after A.M. Obukhov RAS. 2019. No. 3. pp. 117-125. (In Russ.)

3. Vernadskii V.I. Biosphere. Moscow. Mysl', 1967. 227 p. (In Russ.)

4. Gol'tsman F.M. Integration of observations in ther ecognition of geophysical objects. Physics of the Earth. 1976. No 7. pp. 40-54. (In Russ.)

5. Gol'tsman F.M. Information content of the experiment and taking in to account the correlation of non-numerical features in there cognition of geophysical objects. Physics of the Earth. 1980. No. 10. pp. 71-85. (In Russ.)

6. Spivak A.A., Kishkina S.B. Study of the microseismic background in order to determine the active tectonic structures and geodynamic characteristics of the environment. Physics of the Earth. 2004. No. 7. pp. 35-49. (In Russ.)

7. Shempelev A.G. Results of deep geophysical surveys along the Genaldon profile. In: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vladikavkaz. 2007. pp. 457-463. (In Russ.)

8. Shempelev A.G., Kukhmazov S.U., Chotchaev Kh.O., Nevskii L.N. The structure of the Greater Caucasus is the result of a low-angle overthrust of the earth's crust of the Scythian plate onto the consolidated crust of the microplates of the South Caucasus. Geology and Geophysics of Russian South. 2015. No. 4. pp. 129-145. (In Russ.)

9. Nesmeyanov S.A., Bogolyubova N.P., Voeikova O.A., Mindel' I.G. Active faults and ruptural creep on the mountainous part of the Blue Stream trunk pipeline. Geoecology. 2003. No. 5. pp. 387-404. (In Russ.)

10. Pkharoe B.L., Evdokimov A.N. Composition and reconstruction of drift sources for terrigenous deposits in the north-west of South Africa. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10. No. 4. pp. 124-149. DOI: 10.46698 / VNC. 2020.48.31.008. (In Russ.)

11. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. The influence of geodynamic processes on the geoecological state of high-mountainous territories. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10. No. 4. pp. 70-100. (In Russ.)

12. Yarotskii G.P., Chotchaev Kh.O. Tectonic predetermination of the Khailin earthquake in the Southwest of the Koryak Upland. Geology and Geophysics of Russian South. 2016. No. 4. pp. 129-140. (In Russ.)

13. Cesnulevicius A. Relief dynamic state of urban territories and tendency of its development. 6th International Conference Environmental Engineering. 2005. Vol. 1-2. pp. 63-68.

14. Dill H.G. Facies variation and mineralization in central-Europe from the late Paleozoic through the Cenozoic. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. 1994. Vol. 89 (2). pp. 268-287. https://doi. org/10.2113/gsecongeo. 89.2.268

15. Folguera A., Ramos V.A., Hermanns R.L., Naranjo J.A. Neotectonics in the foothills of the southernmost central Andes (37–38S): evidence of strike – slip displacement along the Atinir Copahue fault zone. Tectonics. 2004. No. 23. doi:10.1029/2003TC001533.

16. Gentili R., Armiraglio S., Rossi G., Sgorbati S., & Baroni C. Floristic patterns, ecological gradients and biodiversity in the composite channels (Central Alps, Italy). Flora. 2010. Vol. 205 (6). pp. 388-398. https://doi. org/10.1016/j. flora. 2009.12.013

17. Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. Central Italy. Geomorphology. 1999. Vol. 31 (1-4). pp. 181-216; 1787, 2014.

18. Hilley G. E., Coutand I. Links between topography, erosion, rheological heterogeneity, and deformation in contractional settings: Insights from the central Andes. Tectonophysics. 2010. Vol. 495 (1-2). pp. 78-92. https://doi. org/10.1016/j. tecto. 2009.06.017

19. Masek J. G., Isacks B. L., Gubbels T. L., Fielding E. J. Erosion and tectonics at the margins of continental plateaus. Journal of Geophysical Research. 1994. Vol. 99. pp. 13941-13956.

20. Newsome D., Moore S. A., & Dowling R. K. Natural area tourism: Ecology, impacts and management (2nd ed.). – Bristol: Channel View Publications, 2013.

21. Persaud M., Pfiffner O. A. Active deformation in the eastern Swiss Alps: post-glacial faults, seismicity and surface uplift. Tectonophysics. 2004. Vol. 385. pp. 59-84.

22. Pope N., Harris T. B., Rajakaruna N. Vascular plants of adjacent serpentine and granite outcrops on the Deer Isles, Maine, USA. Rhodora. 2010. Vol. 112 (950). pp. 105-141

23. Sobel E. R., Strecker M. R. Uplift, exhumation, and precipitation: tectonics and climatic control of Late Cenozoic landscape evolution in the northern Sierras Pampeanas, Argentina. Basin Research. 2003. No. 15.

24. Varga A., Ujvari G., Raucsik B/ Tectonic versus climatic control on the evolution of a loess-paleosol sequence at Beremend, Hungary: An integrated approach based on paleoecological, clay mineralogical, and geochemical data. Quaternary International. 2011. Vol. 240 (1). pp. 71-86. https://doi. org/10.1016/j. quaint. 2010.10.032

25. Yang, X. P., Eitel, B. Understanding the Interactions between Climate Change, Landscape Evolution, Surface Processes and Tectonics in the Earth System: What Can the Studies of Chinese Deserts Contribute? [Article]. Acta GeologicaSinica-English Edition. 2016. Vol. 90 (4). pp. 1444-1454. https://doi. org/10.1111/1755-6724.12778

26. Zaalishvili V. B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O. G., Melkov D. A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. Geology and Geophysics of Russian South. 2020a. Vol. 10 (3). pp. 94-113. DOI: 10.46698/VNC. 2020.47.51.006.

27. Zaalishvili V. B., Kanukov A. S., Fidarova M. I. GIS-technologies in geophysical information databases processing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 913. 2020b. pp. 052050. doi:10.1088/1757-899X/913/5/052050