

УДК 551.2.01-551.3.053

DOI: 10.46698/VNC.2023.88.99.010

Оригинальная статья

Особенности формирования геоэкологических рисков горной территории на основе анализа причинно-следственных связей геодинамических эндогенных и экзогенных процессов

О.Г. Бурдзиева¹, Е.Н. Козырев¹, А.Л., Кортиев², М.О. Ревазов¹

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

²Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Россия, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Статья поступила: 06.09.2023, доработана: 15.11.2023, принята к публикации: 30.11.2023

Аннотация: Целью работы являлись обзор опасных геологических процессов различной природы в горном регионе Северной Осетии и выбор приоритетного направления исследования. Проблема оценки особенностей протекания опасных геоэкологических процессов на основе взаимосвязи геодинамических эндогенных и экзогенных явлений характеризуется своей **актуальностью**. В этой связи изучалось влияние эндогенных процессов на формирование текущего состояния горного региона. **Методы.** Для решения поставленной задачи проведен анализ ранее проведенных исследований. Уровень воздействия эндогенных и экзогенных геодинамических процессов на геоэкологическую среду характеризуется развитием генетических типов четвертичных образований, формирующих очаги опасных геологических процессов. Геодинамические процессы проявляются в виде аномальных отклонений геофизических, электромагнитных, геохимических полей и других характеристик горной среды, обусловленных фактом и уровнем воздействия на нее. **Результаты.** Установлено, что геологические изменения среды, вызваны неотектоникой трещинного типа в зонах активных глубинных разломов из-за неравномерного подъема отдельных участков территории, обуславливающего напряженно-деформированное состояние среды, концентрацию гравитационной энергии и разрушение коренных пород приледниковых зон. Показано, что физические, механические и геохимические поля, как неотъемлемые признаки-индикаторы опасных геодинамических процессов, оказывают определяющее влияние на состояние горных пород, формируя современную кору выветривания, и обуславливая интенсивное накопление четвертичных отложений.

Ключевые слова: туристско-рекреационный комплекс Мамисон, тектонические движения, геодинамические процессы, эндогенные и экзогенные явления, геофизические методы, инструментальные наблюдения, прогноз геоэкологических событий.

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., Козырев Е.Н., Кортиев А.Л., Ревазов М.О. Особенности формирования геоэкологических рисков горной территории на основе анализа причинно-следственных связей геодинамических эндогенных и экзогенных процессов. *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 10(4): 124-134. DOI: 10.46698/VNC.2023.88.99.010

DOI: 10.46698/VNC.2023.88.99.010

Original paper

Features of formation of geoecological risks in the mountainous territory based on the analysis of cause-and-effect relations of geodynamic endogenous and exogenous processes

O.G. Burdzieva¹, E.N. Kozyrev¹, A.L. Kortiev², M.O. Revazov¹

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

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

Received: 06.09.2023, revised: 15.11.2023, accepted: 30.11.2023

Abstract: Relevance. The aim of the paper was to review hazardous geological processes of various nature in the mountainous region of North Ossetia and to select a priority research area. The problem of assessing the peculiarities of hazardous geo-ecological processes on the basis of the relationship between geodynamic endogenous and exogenous phenomena is characterized by its **relevance**. In this connection the influence of endogenous processes on the formation of the current state of the mountain region was studied. **Methods.** To solve the task we analyzed the previously conducted studies. The level of impact of endogenous and exogenous geodynamic processes on the geoecological environment is characterized by the development of genetic types of Quaternary formations forming the centers of hazardous geological processes. Geodynamic processes are manifested in the form of anomalous deviations of geophysical, electromagnetic, geochemical fields and other characteristics of the mountain environment, caused by the fact and level of impact on it. **Results.** It was established that geological changes in the environment are caused by neotectonics of fracture type in the zones of active deep faults due to uneven uplift of some parts of the territory, which causes stress-strain state of the environment, concentration of gravitational energy and destruction of bedrock of glacial zones. It is shown that physical, mechanical and geochemical fields, as integral signs-indicators of hazardous geodynamic processes, have a determining influence on the state of rocks, forming the modern weathering crust, and causing intensive accumulation of Quaternary sediments.

Keywords: Mamison tourist and recreational complex, tectonic movements, geodynamic processes, endogenous and exogenous phenomena, geophysical methods, instrumental observations, forecast of geo-ecological events.

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., Kozyrev E.N., Kortiev A.L., Revazov M.O. Features of formation of geoecological risks in the mountainous territory based on the analysis of cause-and-effect relations of geodynamic endogenous and exogenous processes. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2023. 13(4): 124-134. DOI: 10.46698/VNC.2023.88.99.010

Введение

В связи с интенсивным формированием туристско-рекреационного центра Мамисон в Северной Осетии и освоением новых территорий, представляется необходимым проведение детальных исследований состояния природной среды и разработка методологии путей освоения региона с целью минимально возможного воздействия на природную среду. Разработка соответствующих подходов по прогнозу опасных геологических процессов в горном регионе, позволит уменьшить негативное воздействие природно-техногенных процессов и стабилизировать развитие опасных экзогенных процессов.

Обособленное воздействие геодинамических процессов по масштабности их проявления, негативному воздействию на ландшафт и геоморфологические структуры, а также на геологические условия территории повышает уровень геологической ситуации до опасной.

Геодинамическая опасность региона формируется целым рядом факторов: активностью литосферы, литологическим составом осадочного чехла, условиями взаимодействия геологической среды с атмосферой, влиянием климата и др.

Собственно геодинамическая опасность определяется активностью эндогенных процессов, таких как тектоника плит и вулканизм, а также экзогенных процессов. Взаимодействие указанных процессов определяет геологическое состояние среды. Однако связь между эндогенными и экзогенными процессами остается неясной и требует дальнейших исследований. Понимание этих связей является важным для предотвращения и смягчения геодинамических рисков на территории.

Активность эндогенной геодинамики зависит от проявлений глубинных тектонических нарушений, землетрясений, складчатой дислоцированности и трещиноватости массива, взаимодействия геохимических и геофизических полей и сейсмодислокаций.

Опасность геологических процессов эндогенного и экзогенного характера, оценивается интенсивностью и продолжительностью их проявления. Причиной активизации экзогенных процессов является эндогенная активность, обусловленная приуроченностью к узлам разрывных структур и зонам сейсмической и вулкано-плутонической активности [Яроцкий, Чотчаев, 2016; 2019].

Уровень воздействия эндогенных и экзогенных геодинамических процессов на геологическую среду определяет развитие генетических типов четвертичных образований, формирующих очаги опасных геологических процессов [Чотчаев и др., 2020; Zaalishvili et al., 2020].

Структурный элемент – рельеф местности отображает результаты тектонической деятельности. Структура геоморфологии характеризует механизм взаимодействия элементов поверхности и тектонических процессов [Bull, 1991; Bull, McFadden, 1977; Keller, Pinter, 2012; Burbank, Anderson, 2001; Peters, Van Balen, 2007]. Изучение геоморфологических характеристик региона позволяет прогнозировать изменение ландшафта в результате тектонической деятельности.

Опасность разлома зависит от силы его воздействия на инженерное сооружение [Несмеянов, 2004] за время с голоцена [Allen, 1975] до настоящего периода в течение 400 тыс. лет [Никонов, 1994] или 100...150 тыс. лет [Трифонов, Караханян, 2008].

Максимальные разрывные дислокации Мамисонского узла приурочены к крупным Тибскому и Нарскому разломам. По размерам развития Нарская зона новейших сейсмотектонических разрывов является самой крупной на Северном Кавказе (рис.1).

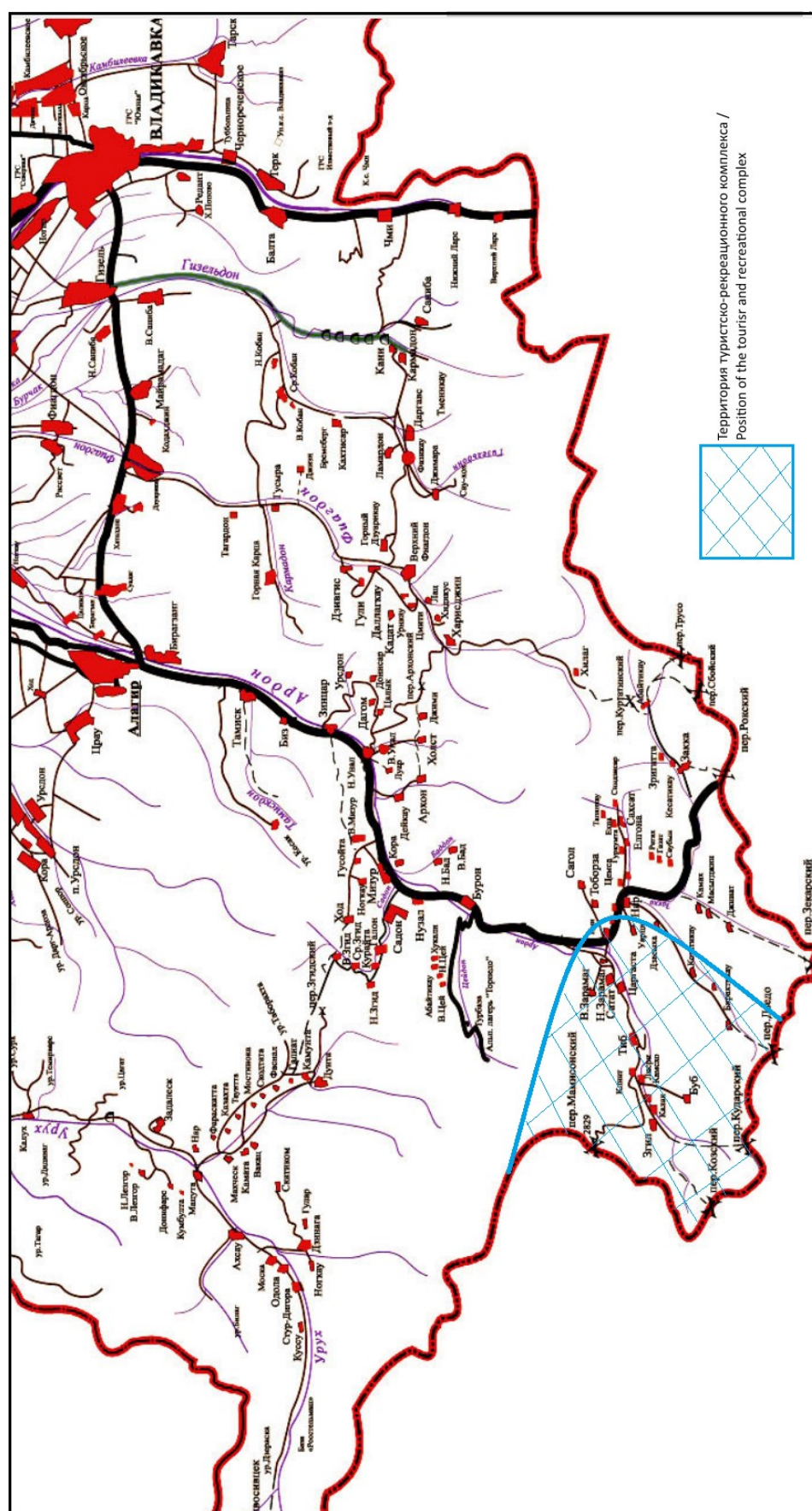


Рис. 1. Положение территории туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» Республики Северная Осетия-Алания /

Fig. 1. The position of the tourist and recreational complex "Mamison" of the Republic of North Ossetia-Alania

Методология выявления фактора геодинамического развития

В Центральной части Большого Кавказа зоны разломов субширотного направления увязаны с меридиональными разломами более низкого порядка. Так, Сырхубарзондский разлом, рассекающий долину ледника Колка, ограничивает реликтовый рубец и продолжается на восток. Он связан с потухшим вулканом Казбек, что подтверждает причину схода ледника Колка с многочисленными жертвами, имеющего статус экологической катастрофы [Zaalishvili, Melkov, 2014].

Обвальнo-осыпные и оползневые массивы имеют собственную частоту колебаний. Если частота землетрясения совпадает с частотой колебаний массива, возникает эффект резонирования, который усиливает опасность.

Четвертичные образования определяют состав материнских пород, уровень геодинамической активности и темпы развития опасных экзогенных геологических процессов. Их картографирование в масштабе 1:10000 с выделением очагов развития опасных процессов позволяет прогнозировать масштабы динамики событий и разрабатывать меры минимизации риска. Приведены алгоритмы распознавания опасных процессов (рис. 2) [Чотчаев и др., 2020].

Инструментальные наблюдения позволяют реализовать мониторинг эндогенных и экзогенных процессов горных пород в условиях их естественного залегания.

Динамика опасных экзогенных процессов

Локальные четвертичные образования нуждаются в исследовании их динамических и кинематических изменений для разработки мер предупреждения опасности геозкологических явлений.

При формировании рельефа территории приоритетную роль в неоплейстоцене-голоцене играли процессы ледниковой экзарации и аккумуляции в троговых долинах.

Геозкологические изменения происходят, в том числе, по причине смыва почвы. В результате смыва дерна и растительности склоны нередко обнажаются на высоту 120...150 м. Эрозионные опасные геологические процессы характеризуются латентностью и глубиной (рис. 2.).

Территории экономического развития в зоне активизации Большого Кавказа расположены в сложных инженерно-геологических условиях, обусловленных разнообразием состава пород, их нарушенностью, сейсмичностью и темпами развития геологических процессов. [Бурдзиева и др., 2016; Чотчаев и др., 2017; Чотчаев и др., 2020; Zaalishvili et al., 2018].

На Северном Кавказе экзогенные геологические процессы представлены зонами выветривания, оползнями, обвалами, лавинами и суффозиями.

Выветривание. При физическом выветривании дезинтегрируются горные породы с образованием дресвы и щебня, представляющих собой источник материала для селей и оползней.

Эрозионные процессы наносят ущерб объектам экономики и сооружениям. Активизация процессов эрозии обусловлена тем, что в орогене Большого Кавказа осуществляется тектоническое поднятие со скоростями 2... 14 мм/год.

Селевые потоки. Центральный Кавказ характеризуется показателем пораженности, который составляет около 50% и относится к весьма опасным [Шеко, 1980]. Здесь зафиксировано более 180 селевых очагов с возможностью выброса до 100

тыс. м³ твердой массы. По руслам рек и по водотокам образовалось 45 участков оползневого и селевого перекрытия с водо-накопителями емкостью 10...25 тыс. м³.

Обвальные процессы. Около 80% площади исследования перекрыты продуктами обвально-осыпных процессов, возникающих по причинам: геодинамические процессы на стыках мегаплит; накопленное сейсмическое воздействие, когда обрушение проявляется не от одного краткосрочного сейсмоудара, а от совокупности слабых ударов; мощные сейсмоудары силой 7...9 баллов с разрядкой на вершинных участках рельефа; работа трещин бортового отпора с резкими суточными перепадами температур.

В настоящее время наиболее вероятными считаются геологические проявления на участках развития мощных тектонических нарушений (Цейский надвиг и серия разломов Северный, Нарский, Тибский, Халацинский, Згильский, Саухохский), приуроченных к зонам концентрации тектонических нарушений в сейсмических и электрических полях (рис. 1.).

В зоне реликтового рубца и южного склона Бокового хребта участки земной коры перемещаются на 12...15 мм в год.

Оползни. Из числа более чем 200 оползневых массивов, 120 расположено в бассейнах рек Ардон, Заккадон, Мамисондон, Адайкомдон и Цейдон, а так же в песчано-глинистых отложениях юры в бассейнах рек Бубудон, Ручатдон, Лагатком. Оползнями скольжения прорабатываются долины Мамихдона и Зруга.

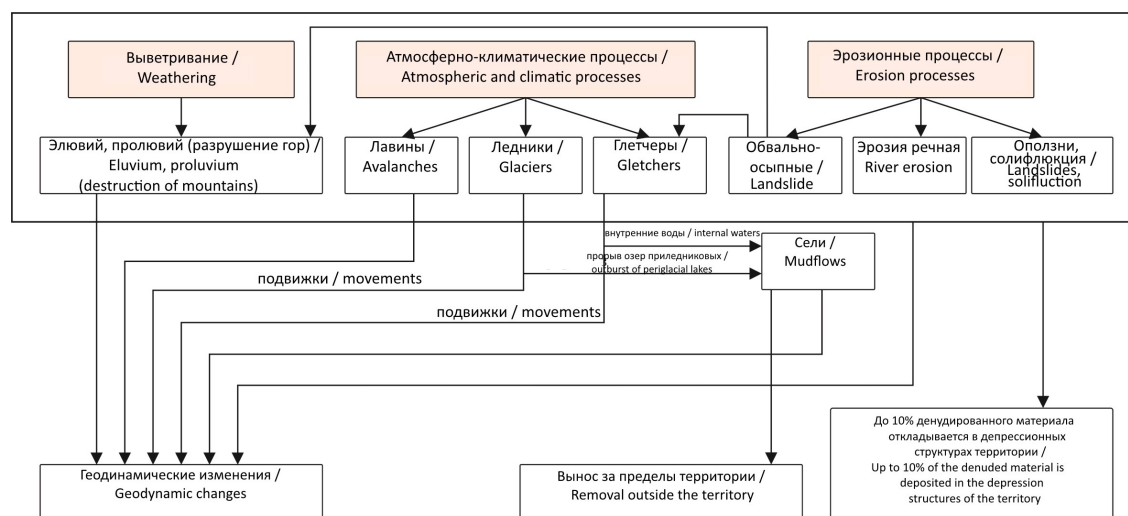


Рис. 2. Экзогенные процессы воздействия на высокогорные территории [Чотчаев и др., 2020] / Fig. 2. Exogenous processes of impact on high mountain areas [Chotchaev et al., 2020]

Лавины. Лавинная опасность провоцируется осадками (рис. 2). Высокогорный ландшафт Главного Кавказского хребта характеризуется эрозионно-денудационным и ледниково-экзарационным рельефом с растительностью на оподзоленных почвах, содержащих 5...7% гумуса.

Наиболее развита линейная эрозия в глинистых сланцах и аргиллитах Северной и Южной депрессий, что проявляется в образовании промоин и оврагов глубиной до 4 м.

Ареал опасных экзогенных геологических процессов включает в себя селитебные участки (Лисри, Зруг, Козыком-Згил и Земегон) на площади около 170 кв. км. До 80% территории перекрыто породами обвально-осыпного типа. По объему селевых разовых выносов участки могут быть дифференцированы на мощные с выбросом

более 100000 м³; средние – 10000 ... 100000 м³; слабые – 1000 ... 10000 м³; весьма слабые – менее 1000 м³. Площадь, занятая ледниками, а также современными и древними глетчерами, составляет 13% от всей территории, включая в себя 36 ледников, 46 современных и 34 древних каменных глетчера, а также 39 ледниковых озер.

Ледники, каменные глетчеры и приледниковые озера. В условиях глобального потепления и отступления ледников на обнаженных площадях развивается трещинная тектоника. Сход ледника или активного глетчера опасен вспахиванием долин, перемещением глыбового материала и негативным преобразованием ландшафта, сопоставимыми с последствиями схода ледника Колка в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г.

Результаты исследований и их обсуждение

Состояние четвертичных образований на участках их локализации исследовано методами сейсмического профилирования и электротомографии и нанесено на схемы районирования геологических процессов по степени опасности участков территории.

Ниже приводятся схемы районирования участков Земегон и Зарамаг, где проведены геофизические исследования с вынесением на схемы региональных нарушений.

Участок Земегон (рис. 3.) характеризуется развитием на его южной половине оползневых процессов, а на северной половине – плоскостным смывом, угрожающим запрудой водотока. К югу от Саухохского разлома аккумулируются глетчеры.

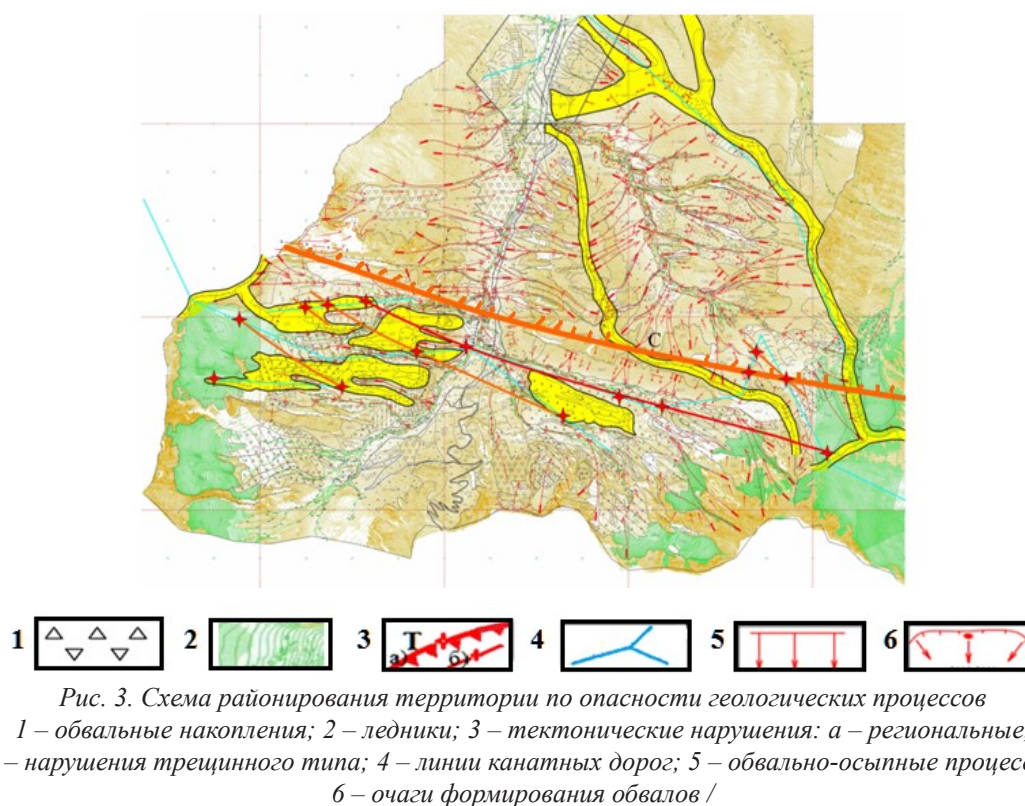


Рис. 3. Схема районирования территории по опасности геологических процессов
1 – обвальные накопления; 2 – ледники; 3 – тектонические нарушения: а – региональные, б – нарушения трещинного типа; 4 – линии канатных дорог; 5 – обвально-осыпные процессы; 6 – очаги формирования обвалов /

Fig. 3. Zoning scheme of the territory by the hazards of geological processes
1 – landslide accumulations; 2 – glaciers; 3 – tectonic faults: a – regional, b – fracture-type faults identified by geophysical methods; 4 – cable car lines; 5 – landslide processes; 6 – foci of permanent formation of landslides.

В пределах изученной геофизическими методами площади тектоника кулисообразно сочетается с региональным разломом Саухохский.

Участок Зарамаг в северо-западной части занят ледником, включающим в себя крупноглыбовые (15...20 м) продукты обрушения скальных склонов. Четвертичные отложения, представляющие обвальные отложения, накапливаются в результате гравитационного перемещения обломочного материала с водоразделов и других склонов. Этот процесс представляет собой медленное сползание рыхлых пород по склону вследствие периодического разнопричинного изменения их объема (рис. 4).

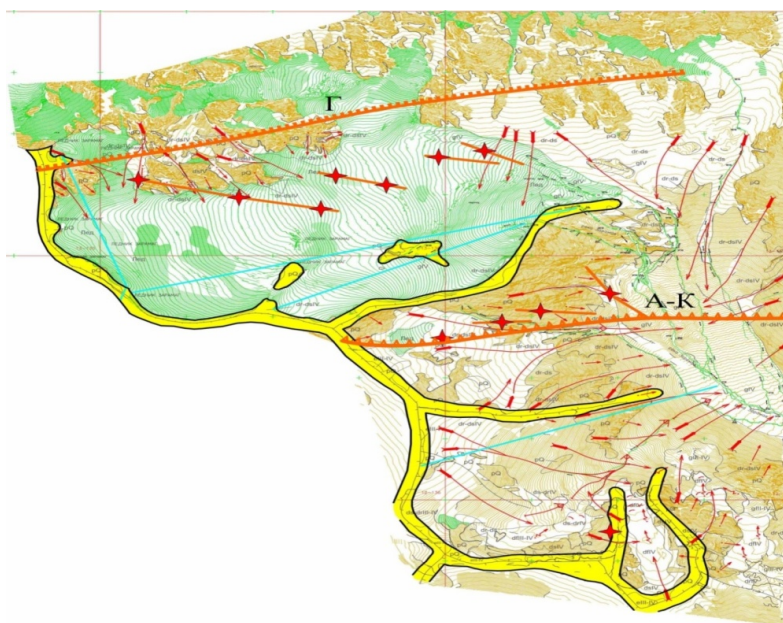


Рис. 4. Схема районирования по степени опасности геологических процессов на участке Зарамаг с элементами тектоники по данным Чотчаева Х.О., 2020 (Гончаренко О.А., 2012) М 1:10000 /

Fig. 4. Zoning scheme according to the degree of hazard of geological processes in the Zaramag area with tectonic elements according to Chotchaev Kh.O., 2020 (Goncharenko O.A., 2012) M 1:10000

Инструментально полученные данные о тектонической активности региона указывают на приуроченность аномальных отклонений геофизических параметров к тектоническим нарушениям [Чотчаев и др., 2020].

На основе связи глубинных тектонических нарушений и неотектонических проявлений трещинной тектоники правомерно говорить о причинно-следственной связи геологических процессов, где приоритетна роль геодинамических, в первую очередь, эндогенных процессов.

Четвертичные образования элювиального ряда, а также генетические типы смешанного генезиса образовались 300...400 тыс. лет назад.

Большой Кавказ имел современный облик уже в раннем неоплейстоцене (2,2...2,3 млн лет назад) [Растворова, 1973] при темпах роста 1,5...5,0 мм в год. За период с позднеплейстоцена горы прирастили 1200...1300 м, при мощности четвертичных накоплений до 100...120 м. Темпы роста накоплений не превышают 0,3–0,4 мм в год.

Потенциальные очаги опасных геологических процессов находятся в состоянии разной степени равновесия, выход из которого возможен при возникновении определенной ситуации.

Мониторинг опасных геологических процессов является надежной основой оценок интегральной эволюции горных пород и позволяет в той или иной мере при определенных условиях обеспечивать прогноз геоэкологических событий.

Выводы

1. Напряженно-деформированное состояние горного массива в условиях естественного залегания является важнейшей характеристикой проявлений геодинамических воздействий. Динамические, геофизические и геохимические поля, наряду с минеральными элементами в водах являются надежными индикаторами геодинамических процессов. Важным фактором развития и последующего накопления четвертичных отложений является разрушительное воздействие эндогенных процессов на коренные породы.

2. Многообразие литологического состава горных пород и активность геологических процессов обуславливают разнообразие генетических типов четвертичных отложений.

3. Потенциальные очаги опасных геологических процессов находятся в состоянии разной степени равновесия, выход из которого возможен при возникновении определенной ситуации. Высокая лавинная опасность территории Северного Кавказа определяется большим числом и непредсказуемостью поведения лавинных очагов.

4. Результаты геолого-геофизических исследований позволяют оценить неотектоническую активность территории и могут быть использованы в практических задачах. Мониторинг опасных геологических процессов является надежной основой оценок интегральной эволюции горных пород и позволяет по мере необходимости обеспечивать при определенных условиях прогноз геоэкологических событий.

Литература

1. Бурдзиева О.Г., Чотчаев Х.О., Маммадли Т.Я. Модель поддерживаемого развития горных территорий Северного Кавказа. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2016. – Т. 8. №4. – С. 348–358. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-4-348-358.
2. Гончаренко О.А. Инженерно-геологические изыскания по объекту: «Проект создания туристического кластера в Северо-Кавказском федеральном округе, Краснодарском Крае и республике Адыгея» Всесезонный туристско-рекреационный комплекс «Мамисон» // Отчет. Владикавказ. 2012.
3. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. – М.: Наука. 2004. – С. 13–15.
4. Никонов А.А. Признаки молодой тектонической активности в зонах Южно-Азовского и Керченского разломов. // Геотектоника. – 1994. – №5. – С. 16–27.
5. Растворова В.А. Формирование рельефа гор: (На примере Горной Осетии) – М.: Наука. 1973. – С. 144.
6. Трифонов В.Г., Караханян А.С. Динамика Земли и развитие общества. – М.: ОГИ. 2008. – С. 8–9.
7. 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
8. Чотчаев Х.О., Оганесян С.М., Гончаренко О.А. Опасные геологические процессы на территориях экономического освоения в горной части Республики Северная Осетия-Алания. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2017. – Т.9. №3. – С.195–210. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-3-195-210.
9. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. – М.: Недра. 1980. – 296 с.

10. 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.
11. Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О. Вулканогены окраинных орогенных поясов Северо-Западного сектора Северо-Восточной Азии. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 3. – С. 18–35.
12. Allen C.R. Geological criteria for evaluating seismicity. // *Bul. Geol. Soc. Amer.* – 1975. – Vol. 86. No. 8. – pp.1041–1057.
13. Bull W.B. Geomorphic responses to climatic change. – New York: Oxford University Press. – 1991. – p. 326.
14. Bull W.B., McFadden L. Tectonic geomorphology North and South of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*. // *Publ. in Geomorphology*, State University of New York, Binghamton. – 1977. – pp. 115–138.
15. Burbank D.W., Anderson R.S. *Tectonic Geomorphology*. // Blackwell Science. – 2001. – Vol. 43. – pp. 105–129.
16. Peters G., Van Balen R.T. Tectonic geomorphology of the northern Upper Rhine Graben, Germany. // *Glob. Planet. Chang.* – 2007. – Vol. 58. – pp. 310–334.
17. Keller E.A. Pinter N. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. – New York: Prentice Hall. – 2012. – pp. 432.
18. Zaalishvili V., Chotchaev Kh., Melkov D., Burdzieva O., Dzeranov B., Kanukov A., Archireeva I., Gabaraev A., Dzobelova L. Geodetic, geophysical and geographical methods in landslide investigation: Luar casestudy. // *Web of Conferences*. – 2020. – Vol. 164. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401014.
19. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Melkov D.A., Makiev V.D., Dzobelova L.V. Development of a unified model of geoinformation system for city planning and integration. // *International Journal of GEOMATE*. – 2018. – Vol. 15. No. 51. – pp. 160–166.
20. Zaalishvili V., Melkov D. Account of seismic impact in Geomechanical design and stability of Underground mining. *Journal Wulfenia, Klagenfurt, Austria*. –2014. – Vol. 21. No. 5. pp.259–266.

References

1. Burdzieva O.G., Chotchaev Kh.O., Mammadli T.Ya. A model for the supported development of mountainous areas in the North Caucasus. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2016. Vol. 8 No.4. pp. 348–358. DOI: 10.21177/1998-4502-2016-8-4-348-358. (In Russ.)
2. Goncharenko O.A. Engineering and geological surveys on the object: The project of creating a tourist cluster in the North Caucasus Federal District, Krasnodar Territory and the Republic of Adygea. All-season tourist and recreational complex Mamison. Report. Vladikavkaz. 2012.
3. Nesmeyanov S.A. Engineering geotectonics. Moscow. Nauka. 2004. pp. 13–15. (In Russ.)
4. Nikonov A.A. Signs of young tectonic activity in the zones of the South Azov and Kerch faults. *Geotektonika*. 1994. No. 5. pp.16–27. (In Russ.)
5. Rastvorova V.A. Formation of the relief of mountains: (On the example of Mountainous Ossetia). Moscow. Nauka. 1973. 144 p. (In Russ.)
6. Trifonov V.G., Karakhanyan A.S. Dynamics of the Earth and the development of society. Moscow. OGI. 2008. pp. 8–9. (In Russ.)
7. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. The 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 (In Russ.)
8. Chotchaev Kh.O., Oganessian S.M., Goncharenko O.A. Dangerous geological processes in the territories of economic development in the mountainous part of the Republic of North Ossetia-Alania. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. Vol. 9. No. 3. pp. 159–210. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-3-195-210. (In Russ.)

9. Sheko A.I. Regularities of formation and forecast of mudflows. Moscow. Nedra. 1980. 296 p. (In Russ.)
10. Yarotskiy 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.)
11. Yarotskiy G.P., Chotchaev Kh.O. Volcanogens of the marginal orogenic belts of the Northwestern sector of Northeast Asia. *Geology and geophysics of Russian South*. 2019. Vol. 9. No. 3. pp. 18–35. (In Russ.)
12. Allen C.R. Geological criteria for evaluating seismicity. *Bul. Geol. Soc. Amer.* 1975. Vol. 86. No. 8. pp. 1041–1057.
13. Bull W.B. *Geomorphic responses to climatic change*. New York. Oxford University Press. 1991. p. 326.
14. Bull W.B., McFadden L. Tectonic geomorphology North and South of the Garlock fault, California. In: Dohering, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions*. Publ. in *Geomorphology*, State University of New York, Binghamton. 1977. pp. 115–138.
15. Burbank D.W., Anderson R.S. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science. 2001. Vol. 43. 4pp. 105–129.
16. Peters G., Van Balen R.T. Tectonic geomorphology of the northern Upper Rhine Graben, Germany. *Glob. Planet. Chang.* 2007. Vol. 58. pp. 310–334.
17. Keller E.A. Pinter N. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. New York. Prentice Hall. 2012. pp. 432.
18. Zaalishvili V., Chotchaev Kh., Melkov D., Burdzieva O., Dzeranov B., Kanukov A., Archireeva I., Gabaraev A., Dzobelova L. Geodetic, geophysical and geographical methods in landslide investigation: Luar case study. *Web of Conferences*. 2020. Vol. 164. DOI: 10.1051/e3sconf/202016401014.
19. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Melkov D.A., Makiev V.D., Dzobelova L.V. Development of a unified model of geoinformation system for city planning and integration. *International Journal of GEOMATE*. 2018. Vol. 15. No. 51. pp. 160–166.
20. Zaalishvili V., Melkov D. Account of seismic impact in Geomechanical design and stability of Underground mining. *Journal Wulfenia, Klagenfurt, Austria*. 2014. Vol. 21. No. 5. pp. 259–266.