

УДК 551.1/.4; 911.2; 911.9

DOI: 10.46698/VNC.2024.77.35.009

Оригинальная статья

Геоэкологическое состояние верховьев бассейна реки Аварское Койсу

В.И. Черкашин¹, В.Б. Заалишвили², С.А. Мамаев¹, З.В. Атаев¹,
Ж.Г. Ибаев¹, В.К. Сулейманов¹

¹ Институт геологии ДФИЦ РАН, Россия, 367030,
г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail.ru;

² Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН,
Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: vzaal@mail.ru

Статья поступила: 31.10.2024, доработана: 02.12.2024, одобрена в печать: 05.12.2024

Резюме: Актуальность работы. В последнее время ученые во всем мире огромное внимание уделяют сохранению окружающей среды в связи с глобальным изменением климата. В этой связи в данной статье исследуется динамика геоэкологического состояния высокогорной части бассейнов горных рек. В определенной степени с изменением климата связано и увеличение антропогенной нагрузки на склоны речных долин. Идет строительство новых и расширение существующих автомобильных дорог. Следствием этого, является повышение риска экзогенных процессов. Немаловажную роль, в этой связи, в решении проблем геоэкологического состояния играют также инженерно-геологические и инженерно-геофизические исследования. В данной статье комплексно исследуются геологическое, гидрологическое, геоэкологическое состояние водосбора высокогорной части бассейна р. Аварское Койсу в условиях глобальных климатических изменений. Для этих целей по результатам исследований построены некоторые инженерно-геологические и геофизические разрезы специфических оползнеопасных участков вдоль автодороги по реке Аварское Койсу. **Цель исследований.** Анализ геоэкологического состояния верховьев высокогорной части бассейна реки Аварское Койсу в условиях глобального изменения климата и нарастающей антропогенной нагрузки. **Методы исследования.** Проведены маршрутные инженерно-геологическое и ландшафтное обследования высокогорной части бассейна р. Аварское Койсу. Вдоль расширяемых автомобильных дорог, на особо опасных оползневых участках, проведены инженерно-геологические и инженерно-геофизические изыскания с бурением более 40 скважин. Проведена малоглубинная сейсморазведка, методом преломленных волн (МПВ) в виде отдельных сейсмозондирований по сетке профилей, каждый из которых отработан 3-4 расстановками (по 94 м) сейсмоприемников. **Результаты исследования.** В процессе исследований получены результаты по состоянию ландшафтов высокогорной части бассейна р. Аварское Койсу, составлены инженерно-геологические и инженерно-геофизические разрезы, позволяющие дать оценку условиям, связанным с процессами глобального изменения климата и нарастающей антропогенной нагрузки в этом районе.

Ключевые слова: климатические изменения, инженерная геология, геоэкология, горные реки, бассейны рек, инженерно-геофизические разрезы, сейсмичность.

Благодарности: Работа представлена в рамках крупного научного проекта «Динамика геоэкологического состояния бассейнов горных рек Северо-Восточного Кавказа, Азербайджана и Ирана в условиях изменения климата и растущей антропогенной нагрузки», (соглашение № 075-15-2024-644).

Для цитирования: Черкашин В.И., Заалишвили В.Б., Мамаев С.А., Атаев З.В., Ибаев Ж.Г., Сулейманов В.К. Геоэкологическое состояние верховьев бассейна реки Аварское Койсу. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(4): 100-112. DOI: 10.46698/VNC.2024.77.35.009

DOI: 10.46698/VNC.2024.77.35.009

Original paper

Geoecological state of the upper reaches of the Avarskoye Koisu river basin

V.I. Cherkashin¹, V.B. Zaalishvili², S.A. Mamaev¹, Z.V. Ataev¹,
Zh.G. Ibaev¹, V.K. Suleimanov²

¹ Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
75 M. Yaragskogo Str., Makhachkala 367030, Russian Federation,
e-mail: dangeogis@mail.ru;

² Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation,
e-mail: vzaal@mail.ru

Received: 31.10.2024, revised: 02.12.2024, accepted: 05.12.2024

Abstract: Relevance. Recently, scientists around the world have been paying great attention to the preservation of the environment in connection with global climate change. In this regard, this article examines the dynamics of the geoecological state of the highland part of mountain river basins. To a certain extent, climate change is also associated with an increase in anthropogenic load on the slopes of river valleys. New roads are being built and existing ones are being expanded. As a consequence, the risk of exogenous processes increases. In this regard, engineering-geological and engineering-geophysical studies also play an important role in solving the problems of the geoecological state. This paper comprehensively studies the geological, hydrological, geoecological state of the catchment area of the high-mountain part of the Avarskoye Koisu River basin in the context of global climate change. For these purposes, based on the research results, some engineering-geological and geophysical sections of specific landslide-prone areas along the Avarskoye Koisu River road were constructed. **Aim.** Analysis of the geoecological state of the upper reaches of the high-mountain part of the Avarskoye Koisu River basin in the context of global climate change and increasing anthropogenic load. **Methods.** A route engineering-geological and landscape survey of the high-mountain part of the Avarskoye Koisu River basin was conducted. Engineering-geological and engineering-geophysical surveys with the drilling of more than 40 wells were carried out along the widened roads, in especially dangerous landslide areas. Shallow seismic exploration was carried out using the refraction wave method (RWM) in the form of individual seismic soundings along a grid of profiles, each of which was processed by 3–4 arrangements (94 m) of seismic receivers. **Results.** In the course of the study, results were obtained on the state of the landscapes of the high-mountain part of the Avarskoye Koisu River basin, engineering-geological and engineering-geophysical sections were compiled, allowing us to assess the conditions associated with the processes of global climate change and the increasing anthropogenic load in this area.

Keywords: climate change, engineering geology, geoecology, mountain rivers, river basins, engineering-geophysical sections, seismicity.

Acknowledgments: The work was presented within the framework of a large scientific project “Dynamics of the geoecological state of the mountain river basins of the North-Eastern Caucasus, Azerbaijan and Iran under conditions of climate change and growing anthropogenic load” (agreement No. 075-15-2024-644).

For citation: Cherkashin V.I., Zaalishvili V.B., Mamaev S.A., Ataev Z.V., Ibaev Zh.G., Suleimanov V.K. Geoecological state of the upper reaches of the Avarskoye Koisu river basin. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(4): 100–112. DOI: 10.46698/VNC.2024.77.35.009

Введение

Исследование динамики геоэкологического состояния бассейнов горных рек водосбора Каспийского моря в условиях глобального изменения климата и усиления антропогенной нагрузки, особенно в сейсмически опасных регионах, представляет собой задачу с высокой актуальностью.

Во-первых, изменение климата – это одна из главных глобальных проблем современности. Горные реки являются чувствительными экосистемами, которые реагируют на изменения климата с особой остротой. Исследование динамики геоэкологического состояния бассейнов горных рек в этом контексте позволяет получить более точное представление о последствиях климатических изменений и их влиянии на ландшафты и водные ресурсы региона.

Во-вторых, антропогенная нагрузка на бассейны горных рек также играет важную роль в изменении их экологического состояния. Рост населения, урбанизация, промышленная деятельность и сельское хозяйство в этих регионах могут оказывать негативное воздействие на водные ресурсы, качество воды и биологическое разнообразие.

Для эффективного решения проблемы постоянно нарастающего антропогенного воздействия и изменения климата необходимо комплексное изучение и анализ геологических, гидрологических, географических и геоэкологических особенностей каждого конкретного бассейна, основанное на полевых исследованиях. В этой связи была организована полевая экспедиция в район верховьев бассейна р. Аварского Койсу. Согласно схеме физико-географического районирования Дагестана, исследованная территория относится к трём природным районам провинции Высокогорного Дагестана – Бокового хребта, Межгорных котловин и Главного Кавказского хребта [Атаев, 1999]. Преобладают здесь горно-лесные, горно-луговые и субнивальные ландшафты.

Основная часть

В геоморфологическом отношении исследованная площадь проходит долиной реки Аварское Койсу по вырубленной полке у подножия её левого крутого (30-40°, на отдельных участках свыше 50°) каменистого склона, местами заросшего смешанным лесом средней густоты. Рельеф на данной территории можно охарактеризовать как чрезвычайно сложный эрозионно-тектонический, сильно расчленённый гидрографической сетью. Горные цепи, расположенные между долинами рек, отличаются скалистым характером и развитием поперечных участков глубоких долин. На рисунке 1 представлена исследованная площадь верховья бассейна р. Аварского Койсу. В целом рельеф представляет собой горную систему, состоящую из параллельных хребтов и разделяющих их межгорных депрессий.

Район входит в состав альпийской орогенной области Большого Кавказа.

Основной особенностью гидрологического режима горных рек Дагестана является зависимость от высоты местности, направления горных хребтов и экспозиций склонов по отношению к господствующим воздушным течениям. В пределах территории Горного Дагестана выделено три гидрологические области: I – высокогорная (высокогорный Дагестан); II – внутригорная (внутригорный Дагестан); III – внешнегорная (внешнегорный Дагестан).

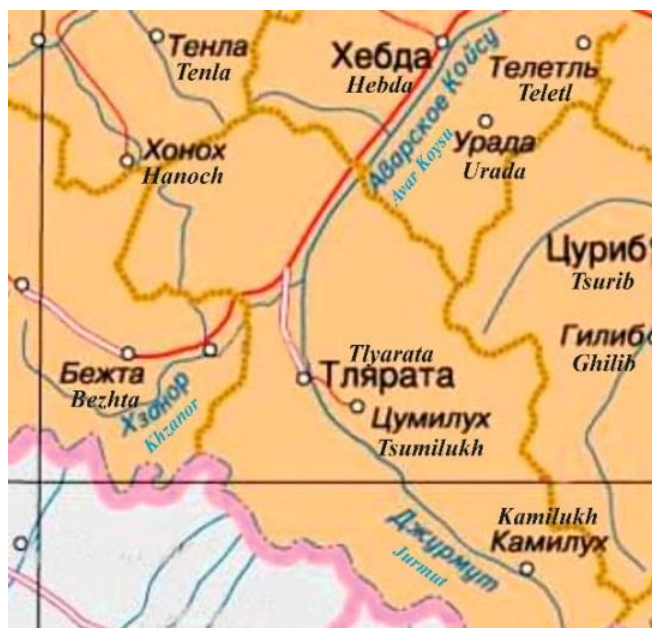


Рис. 1. Бассейн притоков верховья реки Аварское Койсу /

Fig. 1. Basin of the tributaries of the upper reaches of the Avarskoye Koisu River

Исследованная площадь входит в пределы второй (II) гидрологической области Дагестана. Внутригорная (II) гидрологическая область включает реки с северных склонов Главного Кавказского хребта и северо-восточных склонов Бокового хребта. Область занимает территорию с высотными отметками от 200 до 4480 м. Большой перепад высот объясняется наличием здесь относительно низко расположенных межгорных впадин и плато.

Река Аварское Койсу характеризуется весенне-летним половодьем и низкой зимней меженью. Распределение стока внутри года происходит не равномерно. Наиболее многоводной река бывает в период с мая по август, в течение которого проходит до 65 % годового объёма стока. Основными притоками реки являются: Джурмут, Хзанор, Сараор, Мазадинка, Темирор, Тобот и др. Распределение речной сети, ледников и озёр определяется особенностями климата, рельефа и геологического строения отдельных частей территории. Горный район является областью аккумуляции влаги. Здесь располагаются истоки многочисленных рек, образующих мощные речные системы. Густота речной сети возрастает по мере увеличения высоты.

На исследованной территории выделяются следующие водоносные комплексы: четвертичный и юрский. Воды четвертичных отложений представлены аллювиальными, делювиальными и флювиогляциальными водоносными горизонтами.

Водоносный горизонт аллювиальных отложений следует подразделить на две группы: воды аллювия рек, берущих своё начало в горной части и воды аллювия рек в низменной части территории. Аллювиальные отложения отличаются высокой водообильностью, причём воды имеют минерализацию до 1 г/л. Водовмещающими породами здесь служат валунно-галечниковые отложения. По химическому составу воды с минерализацией 0,1–0,5 г/л относятся к гидрокарбонатно-кальциевым, а с минерализацией от 0,5 до 0,8 г/л – к гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевым и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевым.

Водоносный горизонт делювиальных отложений вследствие большой изменчивости литологического состава делювия в вертикальном и горизонтальном направлениях не имеет выдержанного распространения. Водообильность отложений слабая, его глубина залегания 1–15 м [Гидрогеология СССР ..., 1968]. По степени минерализации и химическому составу воды чрезвычайно пестрые (0,5–30 г/л). Химический состав их изменяется от гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевого до хлоридно-сульфатно-натриевого и хлоридно-натриевого. Анализ химического состава воды р. Аварское Койсу и притока Хзанор приведен в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

**Анализ химического состава воды рр. Аварское Койсу и Хзанор /
Analysis of the chemical composition of river water Avar Koisu and Khzanor**

№ п/п /Item No.	Наименование химических веществ / Name of chemical substances	Ед.изм./ Unit of measurement	Норма по СанПиН 21.4.1074-01 / Standard according to SanPiN 21.4.1074-01	Содержание компонентов, мг/дм ³ / Content of components, mg/dm ³			
				р.Аварское Койсу / Avar Koisu river		р. Хзанор / r. Khzanor	
				min	max	min	max
1	Сухой остаток / Dry residue	мг/дм ³ / mg/dm ³	1000 (1500)	190	248	214	312
2	Жесткость общая / Total hardness	мг-экв/л / mg-eq/l	7,0 (10)	2,5	3	3,5	4,0
3	Водородный показатель / Hydrogen index	единица pH / pH unit	6-9	7	8,7	7,2	8,7
4	Нефтепродукты / Petroleum products	мг/дм ³ / mg/dm ³	0,1	0	0,07	0	0,05
5	Сульфаты (SO ₄) / Sulfates (SO ₄)	-«-	500,0	72	120	48	96
6	Хлориды (Cl) / Chlorides (Cl)	-«-	350,0	7	14	7	14
7	Нитриты (NO ₂) / Nitrites (NO ₂)	-«-	3	0,004	0,05	0	0,02
8	Нитраты (NO ₃) / Nitrates (NO ₃)	-«-	45	0	1,0	0,1	2,1
9	Аммоний (NH ₄) / Ammonium (NH ₄)	-«-	2	0,04	0,45	0,06	0,25
10	Железо (Fe) / Iron (Fe)	-«-	0,3 (1,0)	0,05	0,23	0,02	0,2

Материалы и методы исследований

В работе использовались следующие методы исследования: анализ и синтез, сравнительный, статистический и картографический. В основе исследования гео-экологического состояния верховьев высокогорной части бассейна реки Аварское Койсу в условиях глобального изменения климата и нарастающей антропогенной нагрузки лежит: анализ географического положения исследуемого района; учет особенностей ландшафтной структуры; оценка туристско-рекреационного потенциала; обследования экзогенных геологических процессов в районе исследований; инженерно-геологические и инженерно-геофизические изыскания, выявленных опасных участков исследуемого района.

При исследовании динамики геоэкологического состояния высокогорной части бассейнов горных рек опирались на инструменты ГИС-картографирования и геоанализа. Подобные приемы в исследованиях речных бассейнов широко применяются в разных регионах. Уточнение положения сети постоянных и временных водотоков, а также результатов дешифрирования типов землепользования осуществлялось нами с помощью сервиса Google Earth Pro.

Инженерно-геологические изыскания проведены для обоснования проекта с целью изучения геолого-литологического разреза, определения физико-механических свойств пород. В процессе бурения отбирались монолиты и образцы нарушенной и ненарушенной структуры из всех разностей грунтов. Отбор образцов произведен в соответствии с требованиями ГОСТ 12071-84.

В состав инженерно-геологических работ вошли следующие виды работ:

- маршрутное обследование – 1 км;
- буровые работы – 45 скважин, общим метражом 220 пог. м;
- отбор монолитов и проб – 24 образца;
- отбор проб воды из родника – 2 пробы.

Бурение скважин осуществлялось колонковым способом буровой установкой ПБУ- 2М с отбором проб.

Для инженерной сейсмики характерно использование всех трёх типов волн- продольной, поперечной и поверхностной. Распространение сейсмических волн в горных породах происходит по законам геометрической оптики, т.е. на границах раздела волны могут отражаться, преломляться и рассеиваться. По этому принципу различают волны прямые, отражённые, преломлённые, рефрагированные.

Результаты работы и их обсуждение

Водоносные комплексы юрских отложений в исследованном районе отличаются высокими напорами (15–200 м). Абсолютные отметки пьезометрических уровней достигают 700–750 м. В районах поверхностного залегания среднеюрских отложений в них встречаются пресные, реже минерализованные воды, гидрокарбонатно-натриевого, гидрокарбонатно-кальциевого и гидрокарбонатно-кальцево-натриевого состава.

Речные бассейны, как целостные системы, представляют собой объекты особого интереса в контексте исследований в области различных наук. Эти системы выступают важными источниками пресных вод, поддерживающих жизнь многих экосистем и обеспечивающих необходимые условия для деятельности человека. Однако, антропогенное воздействие и глобальное изменение климата угрожают чистым пресным водам, что актуализирует проблему доступа к ним, особенно в контексте устойчивого развития, определенного целями устойчивого развития ООН.

Дагестан делится на три климатические зоны: равнинная, предгорная, горная. Район изысканий расположен в горной части Дагестана с высотой над уровнем моря свыше 850 (1000) метров. Снежный покров невелик, но держится довольно долго. Конец весны и начало лета – самый влажный период. На высотах лето прохладное, в долинах и котловинах – теплое. Ближайшей метеостанцией является станция Тлярата с отметкой выше 1500 м.

В целом по району за год выпадает более 621 мм осадков. Основное количество выпадает с апреля по октябрь (650 мм), и годовая сумма осадков на 87,5% складывается из осадков тёплого периода.

Территория изысканий со всех сторон защищена горными хребтами, поэтому частых ураганных ветров здесь не наблюдается, максимальная скорость ветра по метеостанции составляет 23 м/с. Направление сильных ветров, как правило, совпадает с направлением речных долин и межгорных котловин. В последние годы наблюдаются изменения в ветровом режиме, связанные с глобальными климатическими изменениями, выраженные в частых и резких изменениях в ветровом режиме.

В районе проведения исследований образование туманов в последние годы наблюдается в течение всего года, с некоторым перевесом в сторону холодного периода.

Как отмечено выше, район исследований характеризуется сложным рельефом, где горные цепи, расположенные между долинами рек, отличаются скалистым характером. Экзогенные геологические процессы встречаются повсеместно. К примеру, по обследованной автодороге «Хебда-Бежта» до с. Тлярата проходит зона развития опасных геологических процессов на склонах крутизной от 25° и более. Наблюдается транзит грунтовых и поверхностных вод в скоплении крупнообломочного материала, что способствует активизации опасных селевых и оползневых процессов в период снеготаяния и обильного выпадения осадков. Встречаются участки осыпей и камнепадов по лавиноопасным и селеопасным лоткам. Область питания осыпей, как правило, представлена отвесными обнажениями скальных пород с выветрелой и трещиноватой поверхностью, местами частично покрытой мелкой растительностью [Мамаев и др., 2018]. В результате обследования определены участки, на которых активны опасные геологические процессы.

На рисунке 2 представлен типичный склон на исследованной территории с развитием опасного геологического процесса в виде оползня. Протяжённость оползня около 200 метров относительно существующей автодороги.



Рис. 2. Типичный оползневой склон /
Fig. 2. Typical landslide slope



Рис. 3. Бурение скважин /
Fig. 3. Drilling wells

Активизация опасных геологических процессов на исследованной территории возможна при проведении строительных работ на участках, приуроченных к выветрелой, разуплотненной зоне аргиллитов. Следует иметь в виду, что активизация оползневых процессов возможна при подрезке склонов [Идрисов и др., 2013; Кондратьева и др., 2015; Кононова, 2012]. Нередко, данные деформации склона под действием эрозионных процессов превращаются в борозды, рвы, промоины.

Значимость эрозионных процессов связана с формированием в русловых понижениях временных водотоков рыхлообломочных продуктов выветривания горных пород, которые могут составить твердую фазу селевого потока. Эрозионная деятель-

ность выражена и в основном приурочена к долинам мелких водотоков, где за счет размыва коренных пород идет донная и бортовая эрозия. В ходе исследований было пробурено 45 скважин (рис. 3), отобрано 24 образца проб, проведены лабораторные исследования по определению физико-механических свойств образцов. На основании проведенного комплекса инженерно-геологических работ геолого-литологический разрез в основании сверху вниз представлен разными глубинными техногенными, щебенистыми, аллювиально-пролювиальными отложениями, аргиллитами и др. породами. На рис. 4. показан типичный литолого-сейсмологический разрез между 40 и 45 скважинами исследованной площади. Как видно по рисунку 4 в геологическом плане можно выделить одну разность пород – темно-серые и черные плитчатые и сланцеватые аргиллиты (рис. 5) с прослойками песчаников нижней юры (J_{1t+2}).

На рис. 5 показаны типичные примеры залегания выделенных пород. Как видно по рисунку 5 элементы залегания в массиве могут меняться в широком диапазоне. Аллювиально-пролювиальные отложения распространены в долинах временных водотоков и в днищах крупных левых притоков реки Аварское Койсу, формируя в устьевых частях конусы выноса, которые, соединяясь, образуют обширные шлейфообразные покровы. Мощность этих отложений достигает 15–18 и более метров. Состав этих отложений до 70% составляют валуны и галечники, заполненные щебнем, глиной и суглинком.

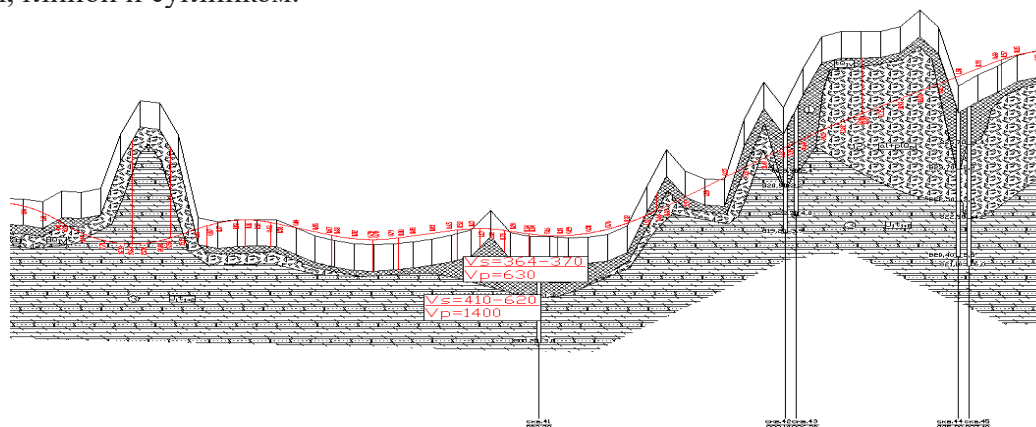


Рис. 4. Инженерно-геологический разрез по профилю скв. № 40- № 45
вдоль автомобильной дороги /

Fig. 4. Engineering-geological section along the profile of wells No. 40-No. 45 along the highway



Рис. 5. Обнажение аргиллитов тоарского яруса (J_{1t+2}) /

Fig. 5. Outcrop of Toarcian mudstones (J_{1t+2})

Отложения тоарского яруса нижней юры представлены темно-серыми аргиллитами с песчаниками средней прочности. Проведенные исследования показали, что аргиллиты вне пределов зон выветривания обладают достаточно высокими значениями прочностных и деформационных свойств. В то же время следует отметить, что водонасыщение этих грунтов идет очень медленно в основном по трещинам и таким образом, можно заключить, что процесс разрушения аргиллитов носит сложный характер и происходит как по трещинам напластования, так и многочисленным трещинам иной направленности.

В геологическом строении района исследований принимают участие отложения юрского, мелового и четвертичного возрастов [Короновский, 1994; Зоненшайн и др., 1990; McClusky et al., 2000; Gordon, Jurdi, 1986; Hempton, 1987; Babeshko et al., 2021; Blinova, 2019; Mammadli, 2022; Гаврилов, 2017; Геолого-геофизические ..., 2017]. *Юрская система* представлена в верхней части преимущественно песчано-алевролитовыми породами с доминированием песчаников, в нижней части – черными рассланцованными, плотными аргиллитами иногда с тонкими прослоями мелкозернистых песчаников. *Меловая система* четко подразделяется на два литологически различных комплекса: терригенно-карбонатный и карбонатный (известняково-мергельный) соответствующие нижнемеловому и верхнемеловому отделам. *Четвертичные* отложения развиты как по долинам рек, так и в межгорных депрессиях. Выделяются следующие генетические типы: ледниковые отложения (морены) – грубообломочные накопления; флювиогляциальные, аллювиальные и пролювиальные отложения – валунно-галечниковые образования, пески, суглинки; отложения склонов [Гидрогеология СССР ..., 1968]. По схеме тектонического районирования исследуемая территория располагается в пределах восточной части мегантиклинория Большого Кавказа, охватывающей области Известнякового и Сланцевого Дагестана, и расположена в области Сланцевого Дагестана, захватывающего небольшую восточную часть мегантиклинория Большого Кавказа, представляющего собой крупное многоступенчатое складчатое сооружение, приуроченное к Бежтинскому грабен-синклинию в ядре мегантиклинория Большого Кавказа.

Сложена породами юрской и четвертичной систем. В близлежащих районах встречены отложения мелового и палеогенового возраста. Более древние и более молодые отложения отсутствуют, поэтому его достоверная геологическая история может быть прослежена только на протяжении вышеуказанных периодов.

В юрских отложениях преобладают частые ленточные переслои аргиллитов, алевролитов с редкими прослоями и пачками песчаников. Глинистая часть пород состоит из гидрослюд с примесью каолинита и хлорита, алевритовая часть представлена мелкими плохо окатанными зернами кварца и полевых шпатов. Аргиллиты темно-серые и черные, тонкоплитчатые, при разрушении рассыпаются в мелкую дробь. Песчаники серые мелко и среднезернистые слоистые или плитчатые. Мощность свиты достигает 600 м.

Четвертичные отложения залегают с поверхности, представлены аллювиально-пролювиальными отложениями и щебенистыми грунтами, образовавшимися при разрушении аргиллитов. Аргиллиты темно-серые, трещиноватые, в кровле выветрелые, пониженной прочности, крошатся и расслаиваются.

Для определения сейсмичности территории Российской Федерации нормативными являются карты ОСР-2015 (СНиП II-7-81*, Строительство в сейсмических районах, 2007 г., СП 47.13330.2018. Свод правил строительство в сейсмических

районах /seismic building design code. 2018 г.) [Ризниченко и др., 1979; Общий каталог ..., 2007; Scholz, 2019; Masi et al., 2020; Tibaldi et al., 2020; Павленко, 2022]. Исследованный участок долины р. Аварское Койсу по указанной карте относится к 9-бальной зоне (карты А, В) и 10-бальной зоне (карта С) по шкале MSK-64.

Важно отметить, что новейшие тектонические движения в бассейне р. Аварское Койсу, особенно в его горной части, обуславливают высокую сейсмичность этой территории. При анализе сейсмичности особый интерес представляют зоны сочленения областей с разной направленностью тектонических движений, т.е. зоны расположения предполагаемых глубинных разломов [Aptikaev et al., 2021; Zaalishvili, Rogozhin, 2011].

На рисунке 6 представлена типичная площадка, на которой проводились геофизические исследования с помощью методов малоглубинной сейсморазведки.



Рис. 6. Развертывание сейсмокосы на типичной площадке /

Fig. 6. Deployment of a seismic streamer at a typical site

Для проведения исследований использовалась 24-канальная сейсморазведочная станция «Лакколит-24». Сейсмическое профилирование проводилось методом переломленных волн (МПВ). По результатам выполненных работ были определены акустические жесткости грунтов и построены геолого-геофизические профили (РСН 65-87 «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование ..., 1987; Технический отчет Инженерно-геологических изысканий по объекту «Строительство путепровода на улице Шеболдаева с выходом на М-29 Кавказ», г. Дербент, Республика Дагестан. ООО «ИПТС»-Транспроект. Махачкала. 2022. 82 с.; Отчет о сейсмическом микрорайонировании территории перспективной застройки г. Махачкала, Госстрой РСФСР, «Ставрополь ТИСИЗ», 1988 г.).

Выводы

Таким образом, по результатам выполненного комплекса исследований можно сделать следующие выводы:

1. Исследованная территория входит в зону альпинотипного рельефа Внутреннего Сланцевого Дагестана, которая объединяет раннеальпийские складчатые структуры, сложенные ниже- и среднеюрскими сланцевыми толщами. Развиты системы глубокорасчлененных горных хребтов и межгорных депрессий.

2. Важную роль в формировании современного рельефа играют процессы механического выветривания горных пород и плоскостная денудация. Во время ливней

со склонов сливается значительный объем продуктов выветривания, что приводит к возникновению разрушительных грязекаменных потоков в речных долинах.

3. Территория характеризуется весьма высокой степенью эрозионного расчленения рельефа и отмечается высокая пораженность современными экзогенными процессами (ЭГП). Нижне- и среднеюрские породы, слагающие рельеф, малоустойчивы и подвергаются интенсивному воздействию эрозионно-денудационных процессов. Сильная расчлененность рельефа способствует формированию и развитию здесь селей, лавин, эрозии, обвально-осыпных, оползневых процессов. Наиболее сильно развиты обвально-осыпные процессы.

4. Наряду с названными причинами возникновения ЭГП на развитие и возникновение оползней, осыпей оказывает влияние и антропогенная деятельность, связанная с освоением территории, строительством дорог и т.д.

5. Геологическое строение, тектонические и сейсмические, а также экзогенные процессы, климатические изменения и человеческая деятельность являются факторами, влияющими на геоэкологическое состояние ландшафта на исследуемой территории.

Таким образом, комплексное изучение динамики геоэкологического состояния ландшафтов бассейнов малых и средних рек водосбора с учетом современных изменений климата и растущей антропогенной нагрузки является необходимой и актуальной задачей при освоении горных территорий.

Литература

1. Атаев З.В. Ландшафтная карта. / Атлас Республики Дагестан. М.: Роскартография, 1999. – 37 с.
2. Гаврилов Ю.О. Отражение сейсмических палеособытий в мезозойско-кайнозойских терригенных толщах Северного Кавказа. // Литология и полезные ископаемые. – 2017. – № 1. – С. 3–24.
3. Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. / Под редакцией Заалишвили В.Б. – Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2017. – 619 с.
4. Гидрогеология СССР. Т. IX. Северный Кавказ. / Под редакцией Н.А. Григорьева, Н.С. Погорельского. – М.: Недра, 1968. – 488 с.
5. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра, 1990. – 328 с.
6. Идрисов И.А., Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г. Особенности распространения и развития крупных оползней Дагестана. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2013. – № 62. – С. 96–100.
7. Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Гедуева М.М., Перов В.Ф., Разумов В.В., Сейнова И.Б., Хучунаева Л.В. Кадастр селевой опасности юга Европейской части России. М., Нальчик: Феория, 2015. – 148 с.
8. Кононова Н.К. Циркуляция атмосферы как фактор стихийных бедствий на Северном Кавказе в XXI веке. // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2012. – Т. 8. № 1-2. – С. 72–103.
9. Короновский Н.В. Аграхан-Тбилиско-Левантийская левосдвиговая зона – важнейшая структура Кавказского региона. // Доклады РАН. – 1994. – Т. 337. № 1. – С. 83–89.
10. Мамаев С.А., Васьков И.М., Юсупов А.Р., Мамаев А.С. Опасные геологические процессы и перспективы их прогноза в Дагестане. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2018. – № 1 (72). – С. 69–73.

11. Общий каталог землетрясений на территории Дагестана: макросейсмические и инструментальные данные о землетрясениях за период VII в. н. э. до 2005 г. / РАН, Геофизическая служба, Дагестанский филиал; [сост. О.А. Асманов и др.]; отв. ред. Р.А. Левкович. – Махачкала: Эпоха, 2007. – 393 с.

12. Павленко О.В. Записи местных землетрясений как основа для корректных оценок сейсмических воздействий (на примере трассы второго Северомуйского тоннеля). // Геология и геофизика. – 2022. – № 2. – С. 247–263.

13. Ризниченко Ю.В., Сейдузова С.С., Пронишин Р.С. и др. Сейсмическая сотрясаемость территории СССР. / Отв. редактор Ю.В. Ризниченко. – М.: Наука, 1979. – 192 с.

14. Aptikaev F.F., Erteleva O.O., Tokmulina G.M. Correlation between the points of different seismic intensity scales. // Seismic Instruments. – 2021. – Vol. 57(1). – pp. 75–87.

15. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. Fractal properties of block elements and a new universal modeling method. // Doklady Physics. – 2021. – Vol. 66. No. 8. – pp. 218–222.

16. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity region. // In: Proceedings of the 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. – 2019. – Vol. 19. – pp. 813–820.

17. Gordon R.G., Jurdi D.M. Cenozoic global plate motions. // Journal of geophysical research. – 1986. – Vol. 91. No. B12. – pp. 389–406.

18. Hempton M.K. Constrains on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. // Tectonics. – 1987. – Vol. 6. – pp. 687–705.

19. Mammadli T.Ya. Determination of seismogenic zones for analysis of seismotectonic activity of deep faults: Seismic hazard assessment for the territory of Azerbaijan. // Geotectonics. – 2022. – Vol. 56. No. 2. – pp. 191–199.

20. Masi A., Chiauuzzi L., Nicodemo G., Manfredi V. Correlations between macroseismic intensity estimations and ground motion measures of seismic events. // Bulletin of Earthquake Engineering. – 2020. – Vol. 18. – pp. 1899–1932.

21. McClusky S., Balassanian S., Barka A. et al. Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. // Journal of geophysical research. – 2000. – Vol. 243. – pp. 673–682.

22. Scholz C.H. The Mechanics of Earthquakes and Faulting. // Cambridge: Cambridge University Press, 2019. – 493 p. DOI: 10.1017/9781316681473.

23. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A. et al. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. // Journal of Asian Earth Sciences. – 2020. – Vol. 188. – pp. 1–18.

24. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of Seismic Hazard of Territory on Basis of Modern Methods of Detailed Zoning and Seismic Microzonation. // The Open Construction and Building Technology Journal. – 2011. – Vol. 5. – pp. 30–40.

References

1. Ataev Z.V. Landscape map. Atlas of the Republic of Dagestan. Moscow. Roskartografia. 1999. 37 p.

2. Gavrilov Yu.O. Reflection of seismic paleoevents in Mesozoic–Cenozoic terrigenous sequences of the Northern Caucasus. Lithology and Mineral Resources. 2017. No. 1. pp. 3–24.

3. Geological-geophysical Studies of the Deep Structure of the Caucasus: Geology and Geophysics of Caucasus: Contemporary Challenges and Research. Ed. V.B. Zaalishvili Vladikavkaz. GPI VSC RAS. 2017. 619 p.

4. Hydrogeology of the USSR. Vol. IX. North Caucasus. Eds. N.A. Grigoriev, N.S. Pogorelsky. Moscow. Nedra. 1968. 488 p.

5. Zonenshain L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. Tectonics of lithospheric plates of the USSR territory. Moscow. Nedra. 1990. 328 p.

6. Idrisov I.A., Mamaev S.A., Ibaev J.G. Features of distribution and development of large landslides in Dagestan. *Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013. No. 62. pp. 96–100.
7. Kondratyeva N.V., Adzhiev A.H., Bekkiev M.Y., Gedueva M.M., Perov V.F., Razumov V.V., Seinova I.B., Khuchunaeva L.V. Mudflow hazard inventory of the south of the European part of Russia. Moscow. Nalchik. Feoria. 2015. 148 p.
8. Kononova N.K. Atmospheric circulation as a factor of natural disasters in the North Caucasus in the XXI century. *Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*. 2012. Vol. 8. No. 1-2. pp. 72–103.
9. Koronovsky N.V. Agrakhan-Tbilisi-Levantine left shift zone – the most important structure of the Caucasus Region. *Doklady RAN*. 1994. Vol. 337. No. 1. pp. 83–89.
10. Mamaev S.A., Vaskov I.M., Yusupov A.R., Mamaev A.S. Hazardous geologic processes and prospects for their prediction in Dagestan. *Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018. No. 1(72). pp. 69–73.
11. General catalog of earthquakes on the territory of Dagestan: macroseismic and instrumental data on earthquakes for the period VII century A.D. to 2005. RAS. Geophysical Survey. Dagestan branch. Compiled by O.A. Asmanov et al. Ed. by R.A. Levkovich. Makhachkala. Epokha. 2007. 393 p.
12. Pavlenko O.V. Records of local earthquakes as a basis for the correct estimation of strong ground motion (the area of the second Severomuisk tunnel). *Geology and Geophysics*. 2022. No. 2. pp. 247–263.
13. Riznichenko Yu.V., Seiduzova S.S., Pronishin R.S. et al. Seismic Shaking of the USSR Territory. Ed. Y.V. Riznichenko. Moscow. Nauka. 1979. 192 p.
14. Aptikaev F.F., Erteleva O.O., Tokmulina G.M. Correlation between the points of different seismic intensity scales. *Seismic Instruments*. 2021. Vol. 57(1). pp. 75–87.
15. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. Fractal properties of block elements and a new universal modeling method. *Doklady Physics*. 2021. Vol. 66. No. 8. pp. 218–222.
16. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity region. In: *Proceedings of the 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM*. 2019. Vol. 19. pp. 813–820.
17. Gordon R.G., Jurdi D.M. Cenozoic global plate motions. *Journal of geophysical research*. 1986. Vol. 91. No. B12. pp. 389–406.
18. Hempton M.K. Constrains on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. *Textonics*. 1987. Vol. 6. pp. 687–705.
19. Mammadli T.Ya. Determination of seismogenic zones for analysis of seismotectonic activity of deep faults: Seismic hazard assessment for the territory of Azerbaijan. *Geotectonics*. 2022. Vol. 56. No. 2. pp. 191–199.
20. Masi A., Chiauzzi L., Nicodemo G., Manfredi V. Correlations between macroseismic intensity estimations and ground motion measures of seismic events. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2020. Vol. 18. pp. 1899–1932.
21. McClusky S., Balassanian S., Barka A. et al. Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of geophysical research*. 2000. Vol. 243. pp. 673–682.
22. Scholz C.H. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge: Cambridge University Press. 2019. 493 p. DOI: 10.1017/9781316681473.
23. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A. et al. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2020. Vol. 188. pp. 1–18.
24. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of Seismic Hazard of Territory on Basis of Modern Methods of Detailed Zoning and Seismic Microzonation. *The Open Construction and Building Technology Journal*. 2011. Vol. 5. pp. 30–40.