

ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.248.2

DOI: [10.46698/VNC.2022.75.43.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.75.43.003)

Оригинальная статья

Структурно-геодинамические исследования южного склона Большого Кавказа в районе Двалетского поднятия в связи с оценкой зон нарушений

В. М. Макеев , М. О. Ревазов , А. Г. Болотаева 

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

Статья поступила: 27.10.2022, доработана: 17.11.2022, одобрена в печать: 22.11.2022

Резюме: Актуальность работы связана с определением геодинамических условий формирования зон нарушений для обеспечения безопасности территорий инженерных сооружений. Эти зоны не всегда уточняются в аспекте их геодинамического происхождения и развития, что сказывается на реальной оценке территорий, в т. ч. в связи с землетрясениями и опасными экзогенными геологическими процессами. **Цель исследований** – структурно-геодинамические исследования в связи с оценкой пространственного распределения зон нарушений и особенностей современного развития. **Метод исследований** – структурно-геодинамический, включающий литологический (структурно-вещественный), структурно-геоморфологический, геодинамический (структурно-кинематический) и дистанционный. **Результатом работ** является выявление форм и типов рельефа, тектонических структур и интенсивных экзогенных процессов (селей, лавин и оползней), как показателей активности зон нарушений. Были установлены новейшие поднятия, прогибы и исследованы зоны нарушений (дислокации). По морфологии и возрасту разноранговые структуры не согласуются друг с другом, что может указывать на их разнотипность по напряженному состоянию и происхождению. Двалетское и Мтиулетское поднятия рассматриваются как новейшие антиклинали, формирующиеся в условиях напряжений сжатия. В приповерхностных условиях они подвергаются воздействию напряжений растяжения, возможно, в связи с ростом поднятий и нахождением на южном крыле сводового поднятия Большого Кавказа. В осевой части Главного Кавказского хребта в районе Двалетского поднятия исследованы локальные разрывные зоны – взбросы в юрско-нижнемеловом флише. Они являются активизированными преимущественно в условиях напряжений растяжения. Это подтверждается результатами полевых наблюдений – к ним приурочены трещины растяжения и сбросы. По этим нарушениям развиваются эрозионные процессы: промоины, водотоки и так называемые «поноры». Причиной подвижности Кударского каменного глетчера, по которому проложен высокогорный участок газопровода Дзуарикау-Цхинвал, является активность зон нарушений и погребенные в каменном массиве линзы льда. Эти факторы негативно влияют на состояние газопровода. Для безопасной его эксплуатации принято решение о строительстве тоннеля через главный водораздел. Современные геодинамические условия южного склона Большого Кавказа являются одной из причин концентрации в зонах нарушений напряжений и развития опасных геологических процессов.

Ключевые слова: новейшая тектоника, геодинамика, разломы, зоны нарушений, типы и формы рельефа, экзогенные процессы, напряжения и деформации, каменный глетчер, лавины и сели, каровый рельеф, высокогорный газопровод.

Благодарности: Работа выполнена в рамках Госзадания ГФИ ВНЦ РАН №1021052605830-7-1.5.6. «Оценка современного состояния геодинамического развития центрального сегмента Большого Кавказа и эволюции его основных структур инструментальными геофизическими методами и с помощью глобальных навигационных спутниковых систем».

Для цитирования: Макеев В. М., Ревазов М. О., Болотаева А. Г. Структурно-геодинамические исследования южного склона Большого Кавказа в районе Двалетского поднятия в связи с оценкой зон нарушений. *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12 (4): 31-46. DOI: 10.46698/VNC.2022.75.43.003.

[DOI: 10.46698/VNC.2022.75.43.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.75.43.003)

Original paper

Structural and geodynamic studies of the southern slope of the Greater Caucasus in the region of the Dvaletsky uplift in respect of the assessment of fractured zones

V. M. Makeev^{ID}, M. O. Revazov^{ID}, A. G. Bolotaeva^{ID}

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

Received: 27.10.2022, revised: 17.11.2022, accepted: 22.11.2022

Abstract: Relevance. The work is related to the determination of the geodynamic conditions for the fractured zones formation to ensure the safety of the territories of engineering structures. These zones are not always specified in terms of their geodynamic origin and development, which affects the real assessment of territories, including the cases connected with earthquakes and dangerous exogenous geological processes. **The aim** of the research is structural and geodynamic studies in connection with the assessment of the spatial distribution of fractured zones and the features of modern development. **Methods.** Structural and geodynamic method, including lithological (structural-material), structural and geomorphological, geodynamic (structural-kinematic) and remote methods are used in the research. **The result** of the work is the identification of forms and types of landscape, tectonic structures and intense exogenous processes (mudflows, avalanches and landslides) as indicators of the activity of fractured zones. The newest uplifts, downfolds were identified and the zones of disturbances (dislocations) were investigated. According to the morphology and the age, structures with different ranks do not conform to each other, which may indicate their diversity of types in stress condition and origin. The Dvaletsky and Mtiuleti uplifts are considered as the newest anticlines formed under the conditions of compressive stresses. Under the near-surface conditions, they are exposed to tension stresses, possibly due to the growth of uplifts and the location of the arched uplift of the Greater Caucasus on the southern flank. In the axial part of the Main Caucasian Range in the area of the Dvaletsky uplift, local fault zones – reverse faults in the Jurassic-Lower Cretaceous flysch, were studied. They are activated mainly under tension stress conditions. This is confirmed by the results of field observations, i. e. they are associated with tension cracks and faults. Erosion processes develop along these disturbances: water galls, watercourses and the so-called “ponors”. The reason for the mobility of the Kudar rock glacier, along which the high-mountain section of the Dzuarikau-Tskhinval gas pipeline was laid, is the activity of fractured zones and ice lenses buried in the rock massif. These factors negatively affect the condition of the gas pipeline. For its safe operation, a decision was made to build a tunnel through the main divide. The current geodynamic conditions of the southern slope of the Greater Caucasus are one of the reasons for the concentration of stress disturbances and the development of dangerous geological processes in the zones.

Keywords: neotectonics, geodynamics, faults, fractured zones, types and forms landscape, exogenous processes, stresses and strains, rock glacier, avalanches and mudflows, cirque landscape, high-mountain gas pipeline.

Acknowledgments: *The work was carried out according to the state assignment of the GPI VSC RAS No. 1021052605830-7-1.5.6. “Assessment of the current state of the geodynamic development of the central segment of the Greater Caucasus and the evolution of its main structures by instrumental geophysical methods and using global navigation satellite systems”.*

For citation: Makeev V. M., Revazov M. O., Bolotaeva A. G. Structural and geodynamic studies of the southern slope of the Greater Caucasus in the region of the Dvaletsky uplift in respect of the assessment of fractured zones. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12 (4): 31-46. DOI: 10.46698/VNC.2022.75.43.003.

Введение

Район исследований расположен в Казбекском (Осетино-Ингушском) новейшем сегменте Большого Кавказа, на границе Республики Северной Осетии-Алании и Республики Южной Осетии. Он приурочен к осевой зоне Двалетского неотектонического поднятия, находящегося на южном крыле обширного сводового поднятия Большого Кавказа. Центральным поднятием этого свода является Цейско-Казбекское, принадлежащее Боковому хребту [Комплексная..., 1996] (рис. 1). Казбекский сегмент относится к максимально суженым относительно смежных сегментов: Центрального и Восточного. По мнению акад. Е. Е. Милановского одной из причин этого сужения является активность Терско-Дагестанской системы прогибов, опускание которых влияет на северное крыло свода Большого Кавказа [Милановский, 1968].

Двалетское поднятие как и его геоморфологическое выражение в виде одноименного хребта является сниженным по абсолютным отметкам рельефа (абс. отм.) по сравнению с Боковым хребтом. Максимальные абс. отм. Двалетского хребта составляют 3938 м (гора Халаца) и 3710 м (гора Саухох), между которыми находится Кударский перевал с абс. отм. 3148 м. Высота гор ниже на более чем 1000 м по сравнению с горой Казбек (5033 м), принадлежащей Боковому хребту. Но, несмотря на уменьшенные отметки рельефа, рассматриваемый хребет является частью Главного Кавказского водораздела. Возможно, снижение высот Двалетского хребта, а значит и суммарных новейших амплитуд, вызвано его положением на южном крыле свода Большого Кавказа [Несмеянов, 2004].

Южное крыло свода Большого Кавказа является относительно более широким, чем северное, вследствие наличия структурных ступеней – предорогенных поверхностей выравнивания. Северная асимметрия свода указывает на его геодинамическую связь с Терско-Дагестанским прогибом, с одной стороны, и на связь с закавказским поднятием – Дзирульским неопротерозойским массивом, с другой стороны [Gamkrelidze et al., 2009]. Наличие сквозных транзитных секущих зон, как возможных очагов землетрясений (зоны ВОЗ) подтверждает это предположение [Заалишвили и др., 2017]. Присутствие центров тектоно-магматической активности указывает на существование внутрикоровой активности [Рогожин и др., 2014; Gee, Zeyen, 1996; Rogozhin et al., 2015]. В геодинамическом аспекте разнородные источники напряжений и деформаций могут являться причиной развития разнотипных по происхождению зон нарушений, в т. ч. геодинамически активных зон (ГДАЗ) [Макеев и др., 2015]. Суперпозиция разнородных напряжений может быть причиной распределения активных зон нарушений и зон ВОЗ [Заалишвили и др. 2017; Zaalishvili et al., 2016, 2018; Макеев и др., 2022; Tibaldi et al., 2020].

Структурно-геодинамические исследования направлены на выявление неотектонических структур и геодинамических условий их формирования с целью уточнения и оценки пространственного распределения активных зон нарушений. С этими зонами связаны сейсмичность и интенсивные экзогенные геологические процессы, отрицательно влияющие на территории инженерных объектов [Добрев и др., 2019; Kravchenko et al., 2022; Korzhenkov et al., 2022]. Решение научных задач прямо связано с обеспечением безопасности самого высокогорного в мире магистрального газопровода Дзуарикау-Цхинвал (длина 169 км, диаметр трубы 30 см), построенного в 2009 г. [Макеев и др., 2022; Свалова, 2021]. Газопровод пересекает северный и южный склоны Двалетского хребта и район Кударского перевала (3148 м) Главного Кавказского водораздела. На участке водораздела на глубине 300-400 м планируется возведение тоннеля для обеспечения безопасности газопровода.

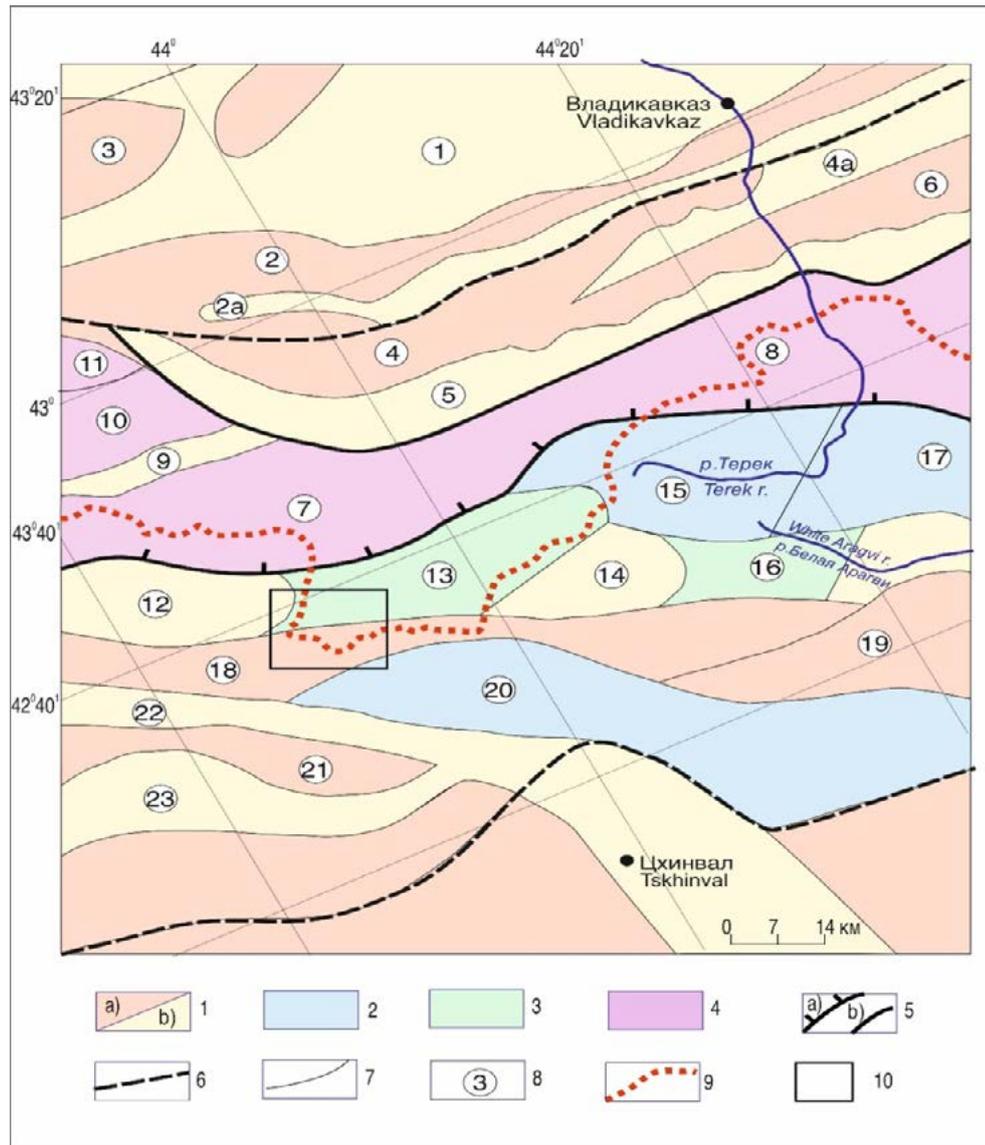


Рис. 1. Неотектонические структуры Казбекского сегмента Большого Кавказа [Комплексная..., 1996].

1 – структуры: а) поднятия, б) прогибы, 2 – структурные ступени, 3 – структурная перемычка (седловина), 4 – Главное Кавказское поднятие, 5 – нарушения: а) Главный Кавказский альпийский надвиг, б) Главный Кавказский сброс, 6 – границы свода Большого Кавказа, 7 – границы структур, 8 – номера структур, 9 – государственная граница РФ, 10 – район детальных исследований в пределах Двалетского хребта.

Система Терско-Дагестанских прогибов: 1 – Осетинский прогиб, 2 – Алагирское поднятие (Лесистая гряда увалов), 2а – Тарская цепь прогибов, 3 – Аргуданское поднятие. Северное крыло свода Большого Кавказа: 4 – Кионхохское поднятие (Скалистый хребет), 4а – Тарско-Балтинский прогиб, 5 – Садонский шовного типа прогиб, 6 – Чмийское поднятие (Скалистый хребет).

Центральное поднятие Большого Кавказа: 7 – Цейско-Казбекское поднятие, 8 – Срединное поднятие, 9 – Верхнеурухский шовный прогиб, 10 – Дыхтауское поднятие, 11 – Верхнебалкарская ступень. Южное крыло свода Большого Кавказа. Гебско-Пасанарская система прогибов: 12 – Верхнерионский прогиб, 13 – Техтинская седловина, 14 – Эрманидонский прогиб, 16 – Келтская вулcano-тектоническая перемычка-седловина (прогиб?). Крестовская ступень: 15 – Шерхотская и 17 – Гудемакарская. 18 – Двалетское поднятие, 19 – Меле-Джавский шовный прогиб (высокая ступень?), 20 – Гудиская ступень, 21 – Квайсинское (Нижнесванетское) поднятие. Шовные прогибы, nasledующие разломы: 22 – Уцерско-Павлеурский, 23 – Рача-Лечхумский /

Fig. 1. Neotectonic structures of the Kazbek segment of the Greater Caucasus [Complex..., 1996].
1 – structures: a) uplifts, b) downfolds, 2 – structural steps, 3 – structural astillens (saddle), 4 – Main

Caucasian uplift, 5 – disturbances: a) Main Caucasian Alpine thrust, b) Main Caucasian fault, 6 – boundaries of the arch of the Greater Caucasus, 7 – boundaries of structures, 8 – numbers of structures, 9 – state border of the Russian Federation, 10 – area of detailed studies within the Dvaletsky range. The system of the Terek-Dagestan downfolds: 1 – Ossetian downfold, 2 – Alagir uplift (Wood ridge), 2a – Tarskaya chain of downfolds, 3 – Argudan uplift. Northern flank of the arch of the Greater Caucasus: 4 – Kionkhokh uplift (Skalisty Range), 4a – Tarsko-Baltinsky downfold, 5 – Sadon downfold of suture-type, 6 – Chmiysky uplift (Skalisty Range). Central uplift of the Greater Caucasus: 7 – Tsey-Kazbek uplift, 8 – Middle uplift, 9 – Upper Uruk suture downfold, 10 – Dykhtau uplift, 11 – Upper Balkar step. The southern flank of the arch of the Greater Caucasus. Gebsko-Pasanar system of downfolds: 12 – Verkhnerionsky downfold, 13 – Tehtinskaya saddle, 14 – Ermanidon downfold, 16 – Celtic volcano-tectonic astillen -saddle (downfold?). Krestovskaya step: 15 – Sherkhotskaya and 17 – Gudemakarskaya. 18 – Dvaletsky uplift, 19 – Mele-Java suture downfold (high step?), 20 – Gudis step, 21 – Kvaisa (Lower-svaneti) uplift. Suture downfolds which deriving faults: 22 – Utsersko-Pavleuri, 23 – Racha-Lechkhumsky

Методы изучения

Исследования проводятся на основе геолого-геоморфологического, структурно-кинематического (геодинамического) и литологического методов с учетом дистанционного подхода. 1) Геолого-геоморфологический метод включает построение структурно-геоморфологических профилей с выделением эрозионно-денудационных поверхностей выравнивания. Оценка высотного положения и возраста поверхностей позволяет выделить структурные формы, уточнить положение зон нарушений и их возраст [Declan, 2016]. 2) Структурно-кинематический метод направлен на изучение происхождения полей напряжений и оценку типа (сжатие, растяжение, сдвиг). В геодинамическом отношении территории районированы на активные и относительно пассивные с учетом суперпозиции разнотипных по происхождению напряжений [Makeeva, Makeev, 2022]. Оцениваются закономерности пространственного распределения тектонических структур и их интерференция. 3) Литологический метод нацелен на изучение доновейшего (вещественно-структурного) субстрата относительно состава и строения с оценкой состояния пород [Di Toro, et al., 2011]. Сильно измененные породы способны вызвать интенсивное развитие геологических процессов [Чотчаев и др., 2020]. В качестве вспомогательного применяется метод дешифрирования дистанционных материалов (фотоснимков разного разрешения и типа, топографических карт) для выявления линеаментов. Зоны повышенной трещиноватости и разрывов дешифрируются в виде спрямленных линий. Геолого-геоморфологический, структурно-кинематический и литологический методы, включая дистанционный, объединяются в один комплексный структурно-геодинамический метод [Макеев и др., 2015].

Результаты работы и их обсуждение

С целью оценки зон нарушений в рассматриваемом районе были изучены следующие факторы: 1) доновейший вещественно-структурный субстрат, 2) структурно-геоморфологические условия и 3) новейшие дислокации. Камеральные и полевые исследования были проведены в 2012 г. и 2022 г. в районах строительства туристических центров (рр. Мамихдон и Зруг) и реконструкции газопровода Дзуарикау-Цхинвал.

1. Доновейший вещественно-структурный субстрат, по которому определяются показатели проявления современных тектонических процессов, представлен юрско-нижнемеловыми терригенно-карбонатными и вулканогенными отложениями, смятыми в интенсивные складки [Энна, Письменный, 2006] (рис. 2).



Рис. 2. Лежачая складка во флишевых отложениях (J-K_{1v}) в районе Кударского перевала. Лежачая складка и гряда рельефа, как геоморфологическое выражение неотектонического поднятия, не согласуются друг с другом ни по характеру строения, ни по условиям образования / Fig. 2. Lying overfold in flysch deposits (J-K_{1v}) in the area of the Kudar mountain pass. The lying overfold and landscape ridge, as a geomorphological expression of the neotectonic uplift, do not conform to each other either in the nature of the structure or in the conditions of formation.

На водоразделе и северном склоне Двалетского хребта нижний мел представлен дганльской, невтисхевской и пасанаурской свитами, относящимися к альбскому, аптскому и барремскому ярусам соответственно. Верхнеюрские отложения отвечают думацхойской свите киммериджского яруса. Отложения этих свит представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками часто кварцевыми общей мощностью 2950 м. Реже встречаются мергели и известняки. Эти отложения нарушены складками и разломами северо-западного простирания. Разломы приурочены к границам отложений разных свит, т. е. разломы и простирания пород согласуются друг с другом.

Южный склон Двалетского хребта сложен юрско-раннемеловыми терригенными отложениями Чиаурского флишевого синклиория (J-K_{1v}) [Схематическая..., 2009; Государственная..., 2011]. В этих отложениях, в отличие от северного склона, присутствуют четвертичные дациты и андезиты. В полосе нас. п. Джава-Квайса синклиорий сочленяется с юрским Гагро-Джавским антиклинорием по Уцерско-Павлеурской разломной зоне северо-западного простирания [Рогожин и др., 2014]. К разломной зоне приурочены эоценовые отложения, выраженные в рельефе широким понижением. Флиш смят в субширотные синклинали и антиклинали мел-позднемиоценового возраста (K₂-N₁³).

2. Структурно-геоморфологические условия района исследований характеризуются разнообразными типами и формами рельефа и интенсивными экзогенными геологическими процессами (рис. 3).

Типы рельефа представлены эрозионно-денудационными ступенями, ледниковыми моренными (бугры, холмы, валы) и флювиогляциальными отложениями. В вершинных частях горных пиков Саухох и Халаца наблюдаются современные ледниковые «шапки» с разнотипными моренами на склонах и в долинах рек.

Эрозионно-денудационные ступени классифицированы на высокие (3500-2500 м) неогенового возраста (I, II, III, IV) и относительно низкие (2500 м и ниже) в основном четвертичного возраста (V, VI, VII). Оценка возраста ступеней приблизительная и требует дальнейшего уточнения. За начало неотектонических движений принята относительно древняя ступень позднемиоценового (сарматского) возраста. К этому времени относится формирование первых тонкообломочных моласс орогенного типа. Эта стадия рассматривается в качестве раннеорогенной [Милановский, 1968]. Позднеплиоценовая ступень (акчагыл-апшеронская) сопоставляется с отложениями свиты рухс-дзуар (N_2^3). К этому времени относится формирование валунно-галечниковых и песчано-глинистых отложений с эффузивными и кристаллическими породами общей мощностью 400-1200 м. Рассматриваемые ступени наиболее выразительны на северном слоне Двалетского поднятия в районе правобережья р. Мамихдон и на водоразделах рр. Дзуарикомдон и Халаца. На южном склоне они хорошо выражены на правобережье Саухохской ледниковой долины.

Ледниковые морены и флювиогляциальные отложения тяготеют преимущественно к вершинным частям двух гор Саухох и Халаца. Морены широко распространены в карах и приустьевых частях ледников, где представлены холмами, буграми и валами в виде овалов и полумесяцев. Эти формы прорезаются современными флювиогляциальными ручьями, промоинами и ложбинами.

Формы рельефа – это кары, трог (полки), уступы, ущелья и гряды (гребни, гривы, дайки). На склонах устанавливаются промоины и ложбины, как формы плоскостного смыва и каналы лавино-селевых потоков.

Кары в форме полуцирка с современными ледниками и без них распространены в верховьях рр. Козидон и Зеমেгондон (Земегон). В них скапливаются моренные и коллювиальные отложения, относящиеся к каменным глетчерам. Наиболее изученным является Кударский кар, приуроченный к северному склону Двалетского хребта. Выше над каром находится одноименный Кударский перевал. По ним в 2009 г. проложен магистральный газопровод Дзуарикау-Цхинвал. Мощность морены составляет в среднем 40-60 м. В процессе бурения для обустройства газопровода в обломочной массе на глубинах приблизительно 1,5-3,0 м установлены линзы льда. В летний период происходит его частичное таяние, что приводит к образованию провалов и к сползанию каменной массы. Ее смещение приводит к растяжению газопровода и к частым авариям.

Все кары генетически сопряжены с разновозрастными троговыми долинами, которые в виде разновысотных уступов-плеч (полок) развиты на склонах (рис. 4). В долине р. Земегон насчитывается около четырех разновысотных троговых генераций ледникового генезиса. Предполагается, что две из них самых высоких являются среднечетвертичными, оставшиеся две генерации, которые пониже – позднечетвертичные. На происхождение трогов, связанное с движением ледника, указывают отполированные скалы – бараньи лбы. Они наблюдаются на поверхностях полок и их боковых стенках в виде многочисленных следов горизонтальной экзарации. Моренные и коллювиальные отложения, накапливающиеся в карах, являются источником лавинных и селевых опасностей.

Все долины ледниковой зоны относятся к категории троговых. В реках развита пойма с хорошо промытым горным аллювием. Надпойменные речные террасы не установлены.

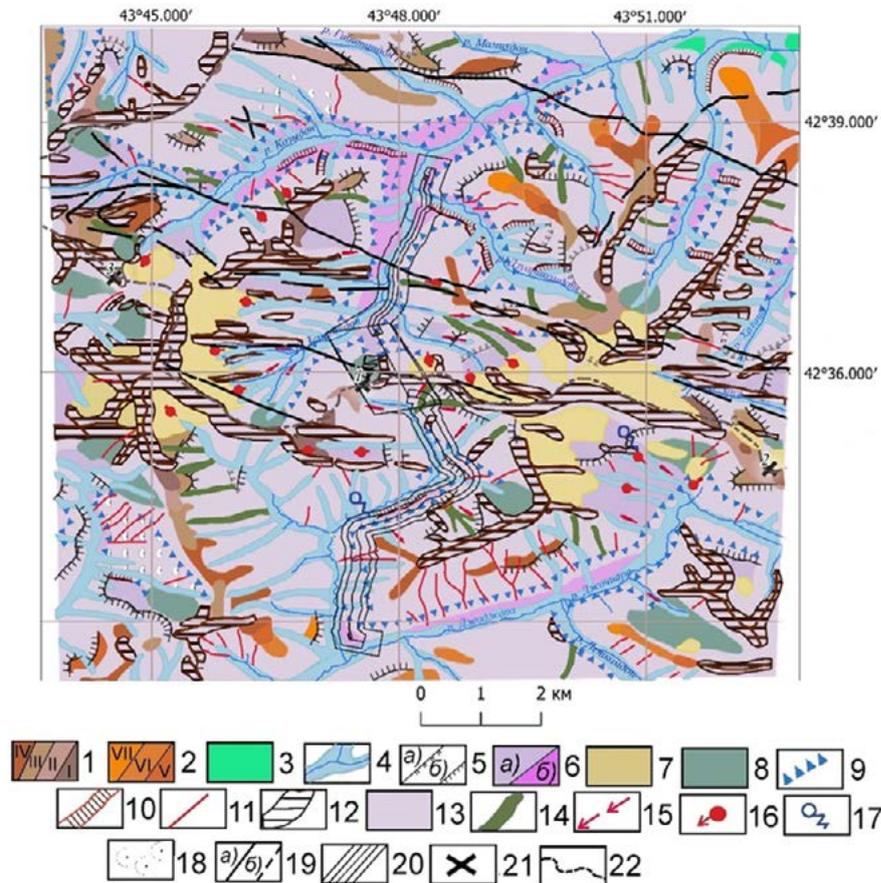


Рис. 3. Структурно-геоморфологический план осевой зоны Двалетского поднятия.

Типы рельефа. Эрозионно-денудационные ступени: 1 – высокие (3500-2500 м) неогенового возраста (I, II, III, IV) и 2 – относительно низкие (2500 м и ниже) четвертичного возраста (V, VI, VII). 3 – первая надпойменная терраса, 4 – поймы рек голоценовые. 5 – Элементы строения разновозрастных ступеней: а) тыловой шов, б) бровка. 6 – Ледниковые отложения разновозрастные: а) моренные массивы на водоразделах рек, б) моренные и флювиогляциальные отложения нерасчлененные в долинах рек, 7 – современные ледники. Формы рельефа. 8 – Кары, 9 – трогги четвертичного возраста, 10 – обрывы, уступы и ущелья; 11 – промоины, 12 – скалы с гребнями и с коллювием, 13 – склоны долин с тыловыми швами и бровками, 14 – ложбины. 15 – Селевые водотоки с очагами ледниковых, пролювиальных и коллювиальных пород, 16 – лавинные лотки предполагаемые, 17 – источники подземных вод (ключи) 18 – оползневые склоны. 19 – Разломы мезозойские: а) установленные, б) предполагаемые [Ольховский, Тибилов, 1998]. 21-газопровод Дзуарикау-Цхинвал, 22 – высокогорные перевалы: Кударский (1), Дзедо (2), Козский (3); 23 – государственная граница Республики Северная Осетия-Алания РФ и Республики Южная Осетия /

Fig. 3. Structural and geomorphological plane of the axial zone of the Dvaletsky uplift. Landscape types. Erosion and denudation steps: 1 – high (3500-2500 m) of Neogene age (I, II, III, IV) and 2 – relatively low (2500 m and below) of Quaternary age (V, VI, VII). 3 – the first terrace above the floodplain, 4 – Holocene river floodplains. 5 – Elements of the structure of steps of different ages: a) inner suture, b) edge. 6 – Glacial deposits of different ages: a) morainal massifs on the rivers divide, b) morainal and fluvio-glacial deposits undivided in river valleys, 7 – modern glaciers. Landforms. 8 – kars, 9 – Quaternary troughs, 10 – cliffs, ledges and gorges; 11 – water galls, 12 – rocks with ridges and colluvium, 13 – slopes of valleys with inner sutures and edges, 14 – hollows. 15 – mudflows with foci of glacial, proluvial and colluvial rocks, 16 – presumed avalanche channels, 17 – groundwater sources (springs) 18 – landslide slopes. 19 – Mesozoic faults: a) established, b) presumed [Olkhovsky, Tibilov, 1998]. 21 – Dzuarikau-Tskhinvali gas pipeline, 22 – high-mountain passes: Kudar (1), Dzede (2), Kozsky (3); 23 – state border of the Republic of North Ossetia – -Alania of the Russian Federation and the Republic of South Ossetia

Интенсивные экзогенные геологические процессы представлены селевыми потоками, лавинными лотками и оползневыми склонами.

Селевые водотоки с источниками рыхлых каменных пород ледникового, коллювиального, пролювиального и делювиального генезиса имеют широкое распространение. Старые и свежие следы прохождения селевых потоков наблюдаются в верховьях рр. Верх. Земегон, Верх. Цитидон, Джоджора и на левобережье р. Козидон. В большинстве случаев они представляют собой прямолинейные промоины, дно которых часто заполнено рыхлообломочными отложениями – пролювием. В основании склонов и дорожных выемках преобладают нагромождения обломочных пород в форме конусов выноса с неровной, бугристой поверхностью. Лавинные лотки здесь также широко развиты. Нижняя граница лавино-селевой опасности может опускаться до абс. отм. 1 200 м. Углы наклона промоин, как каналов-следов этой опасности, колеблются в пределах 35° – 45° .

Оползневые склоны приурочены к значительным перепадам рельефа, где распространены аргиллиты и алевролиты и др. породы с интенсивной тектонической раздробленностью. На их образование оказывает влияние сейсмичность. В этом случае происходит сейсмогравитационное обрушение склонов [Чотчаев и др., 2020]. Сложены оползни щебнем, небольшими глыбами, цементированными суглинком. Как правило, это породы, которыми представлены склоны. Мощность оползневых масс может достигать 100-120 м. Наиболее отчетливо они выражены на левобережьях рр. Козидон и Везурыдон. В случае устойчивого подмывания и подрезания склонов рекой гравитационные образования находятся в активной стадии. Обрывы, уступы и ущелья в долинах рек частое явление. Большая их часть распространена в долинах рек Ср. Земегон и Джоджора.



Рис. 4. Устье Кударского кара с моренными нагромождениями. Современный кар раскрывается в троговую долину р. Земегон. В левом склоне долины образованы плечи (полки), связанные с экзарационной деятельностью более древнего трога /

Fig. 4. The mouth of the Kudar kar with morainal accumulation. A modern kar opens into the trough valley of the river Zemegon. On the left slope of the valley, shoulders (shelves) are formed, associated with the exaration activity of an older trough

3. Новейшие (неотектонические) структуры в осевой зоне Двалетского поднятия представлены Саухох-Халацким, Козикомрахским и Мачхарахским главными поднятиями, сопряженными с Козидон-Земегонским, Джоджора-Зругским и Земегон-Цитидонским прогибами (рис. 5). Суженный характер формирования прогибов, сопряженных с более широкими поднятиями, может указывать на возможную их связь с зонами разрывов. Главные структуры дифференцированы на локальные поднятия и прогибы. Характерным является несогласованность разноранговых структур по морфологии (простирацию и очертаниям), что прямо указывает на наличие дополнительных внутрикоровых источников тектонических напряжений.

Линеаменты, выявленные на основе дистанционных методов, по длине делятся на протяженные (транзитные) и относительно короткие (локальные). Протяженные линеаменты запад – северо-западного (субширотного) простирания наиболее выразительны – они наследуют зоны разломов, образованные в нижнемеловых отложениях. С этой точки зрения эти разломы можно отнести к категории активизированных (см. рис. 5).

К субширотным линеаментам приурочены специфические отрицательные (вогнутые) и положительные (выгнутые) формы рельефа. В первых локализованы кары с каменными глетчерами и современные ледниковые «шапки». Вторые, выраженные узкими гребнями, выполняют роль источников коллювиальных (обвальнo-осыпных) отложений. Сочетание этих форм рельефа приводит к формированию классического карлингового типа рельефа в ледниковой зоне Двалетского хребта. К субширотным линеаментам приурочен Кударский кар (каменный глетчер) с вложенным в него магистральным газопроводом. Один из этих линеаментов согласуется с разломом, локализованным в нижнемеловых отложениях, что указывает на активность нарушения. Это нарушение может являться одной из причин негативной подвижности каменного глетчера, которая (подвижность) вызывает периодические аварии на газопроводе. По этой причине кар относится к специфическому перемещаемому типу.

Особенным является Земегон-Цитидонский субмеридиональный прогиб шовного типа. Положение прогиба между двумя пиками Халаца и Саухох и его ограниченность Козидон-Земегонским и Джоджора-Зругским прогибами позволяет сделать вывод о происхождении его в связи с ростом и расширением внутрикоровых тектоно-магматических центров – Халацкого и Саухохского. Эти центры являются поднятиями с радиальным типом строения. Сопряжение этих центров, локализованных исключительно в Двалетском поднятии, приводит к формированию Земегон-Цитидонского прогиба, включающего Кударский перевал. Относительная пологость этого прогиба на фоне крутых поднятий была одним из условий для принятия решения проектирования по нему газопровода Дзуарикау-Цхинвал.

Согласно геодинамическим условиям, Земегон-Цитидонский субмеридиональный прогиб может наследовать зону сбросо-сдвиговых нарушений, что подтверждается полевыми исследованиями. В рельефе впервые выявлен разлом сбросового типа С-З простирания с кулисообразным строением, косо пересекающий Земегон-Цитидонский прогиб (рис. 6). На Кударском перевале, входящем в этот прогиб, выявлены разнотипные трещины растяжения шириной от первых сантиметров до 50 см, заполненные обломками пород.

Двалетское поднятие на севере сопряжено с Верхне-Рионским (Адайком-Мамисонским) прогибом, наследующим Тибский разлом. На юге поднятие сочленяется с

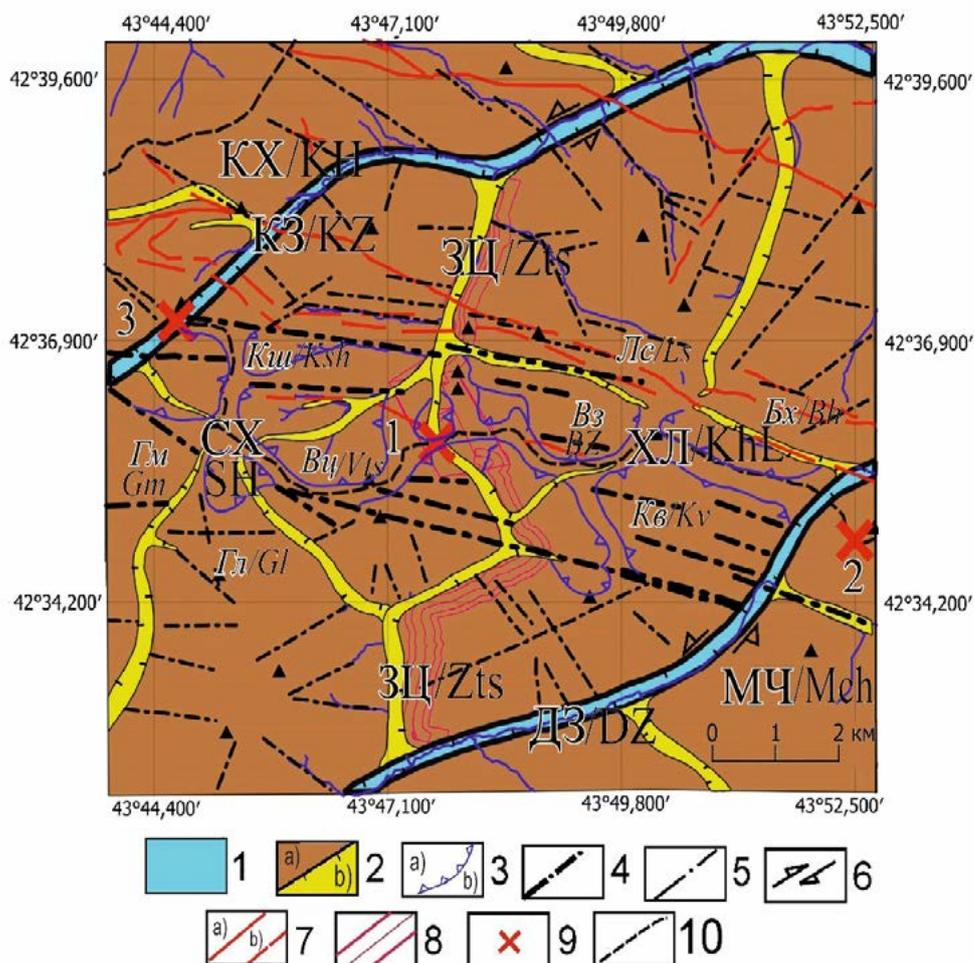


Рис. 5. Неотектонические структуры Двалетского миоценового поднятия. 1 – главные прогибы шовного типа, 2 – локальные структуры: а) поднятия секторального типа, б) прогибы радиального типа; 3 – формы рельефа: а) отрицательные с лавино-селевыми очагами, б) положительные как источники коллювия; 4 – линеаменты транзитные; 5 – линеаменты локальные; 6 – зоны взбросо-сдвиговых деформаций, 7 – доновейшие (мезозойские) разрывы: а) установленные, б) предполагаемые. Другие обозначения: 8 – газопровод Дзуарикау-Цхинвал, 9 – горные перевалы: Кударский (1), Дзедо (2), Козский (3); 10 – государственная граница Республики Северная Осетия-Алания РФ и Республики Южная Осетия. Названия структур. Главные поднятия: Саухох-Халацкое (Саухохское – СХ, Халацкое – ХЛ), Козикомрахское (КХ), Мачхаракское (МЧ). Главные прогибы: КЗ – Козидон-Земегонский, ДЗ – Джоджора-Зругский, ЗЦ – Земегон-Цитидонский. Локальные поднятия: Бх – Бирахитхохское, Лс – Лисринское, ВЗ – Верхнеземегонское, Кв – Кевсельтинское, Ку – Кошарское, Гм – Гармагольское, Гл – Гукантовское, ВЦ – Верхнецитидонское. Локальные прогибы, сопряженные с одноранговыми поднятиями, без названий /

Fig. 5. Neotectonic structures of the Dvaletsky Miocene uplift. 1 – main suture type downfolds, 2 – local structures: a) sectoral uplifts, b) radial downfolds; 3 – landforms: a) negative with avalanche-mudflow centers, b) positive as sources of colluvium; 4 – transit lineaments; 5 – local lineaments; 6 – zones of reverse-shear deformations, 7 – recent (Mesozoic) ruptures: a) established, b) presumed. Other designations: 8 – Dzurikau-Tskhinval gas pipeline, 9 – mountain passes: Kudar (1), Dzedo (2), Kozsky (3); 10 – the state border of the Republic of North Ossetia-Alania of the Russian Federation and the Republic of South Ossetia. Structure names. The main uplifts are: Saukhokh-Khalatskoye (Saukhokhsкое – SH, Khalatskoye – KhL), Kozikomrakhskoye (KH), Machkharahskoye (MCh). Main troughs: KZ – Kozidon-Zemegonsky, DZ – Dzhodzhora-Zrugsky, ZTs – Zemegon-Tsitidonsky. Local uplifts: Bh – Birakhithokhsкое, Ls – Listrinskoye, VZ – Verkhnezemegonskoye, Kv – Kevselta, Ksh – Kosharskoye, Gm – Garmagolskoye, Gl – Gulkantovskoye, Vts – Verkhnetsitidonskoye. Local downfolds associated with peer uplifts, unnamed

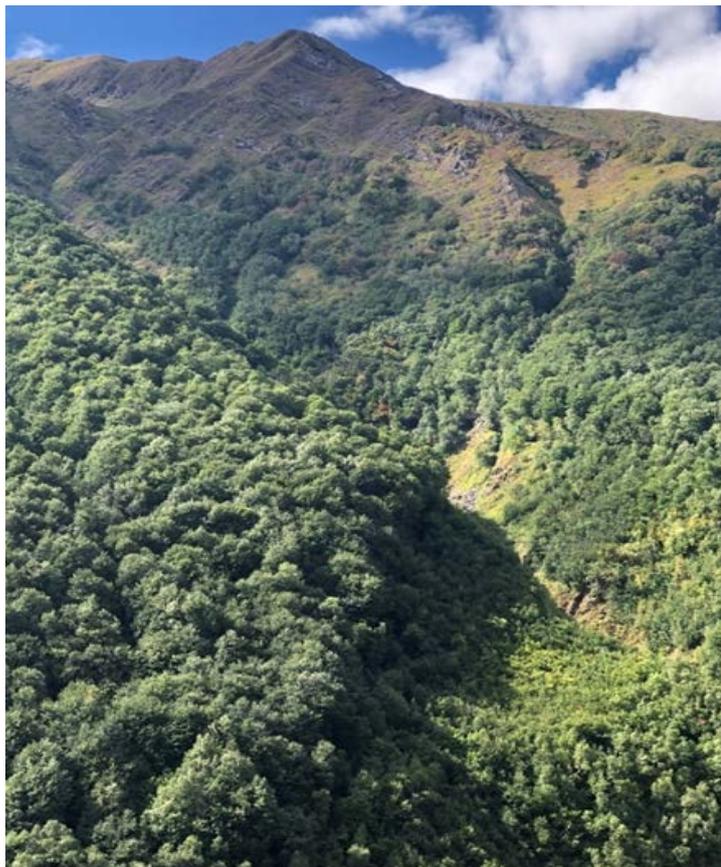


Рис. 6. Активный разлом С-З простирания сбросового типа в долине р. Ниж. Цитидон, косо пересекающий склон Земегон-Цитидонского новейшего прогиба /
Fig. 6. Active fault of NW-trending fault type in the valley of the river Nizhniy Tsitidon obliquely crossing the slope of the Zemegon-Tsitidon recent downfold

Гудисской структурной ступенью, плавно переходящей в Рача-Лечхумский шовный прогиб. Этот прогиб наследует альпийскую зону разломов, с которой связывается сильнейшее Рачинское землетрясение 1991 г. По одним данным Двалетское (Шода-Халацкинское) поднятие является горстом, Рача-Лечхумский прогиб – грабеном [Аверьянова и др., 1996; Несмеянов, 2004.]. По другим данным Двалетское поднятие считается поднятием-антиклиналью, образованной в условиях напряжений сжатия [Gamkrelidze et al, 2009]. Если принять эту точку зрения, то Козидон-Земегонский и Джоджора-Зругский шовные прогибы следует рассматривать как зоны взбросо-сдвигового типа вследствие малой ширины и большой протяженности.

В связи с признанием существования разнородных и разнотипных источников напряжений в земной коре, нами не исключается, что рассматриваемый район находится под влиянием глубинных неотектонических напряжений сжатия и приповерхностного растяжения. В этих условиях тектонические зоны нарушений находятся под влиянием суперпозиции разнородных напряжений, что может явиться причиной их сейсмогенной активности.

Выводы

Осевая зона Главного Кавказского хребта в районе Двалетского поднятия характеризуется следующими структурно-геодинамическими условиями развития.

1) Геологический субстрат (основание), по которому формируются неотектонические структуры и зоны нарушений, представлен флишевыми отложениями, смятыми в интенсивные позднеюрско-палеоценовые, а, по другим данным, поздне-мел-миоценовые ($K_2-N_1^3$) складки и разрывы в основном взбросового типа. Среди доновейших дислокаций редко, но выявлены активизированные зоны нарушений. В основном они приурочены к осевой части Двалетского неотектонического (миоценового) поднятия и выражены открытой трещиноватостью двух типов: послойной и секущей. Их активность связана с современными напряжениями растяжения. По зонам нарушений образуются промоины, отверстия типа поноров и водотоки. В этих нарушениях происходит скопление жильной воды, что может негативно сказаться на горно-геологических условиях проходки газопроводного тоннеля Дзуарикау-Цхинвал.

2) Ледниковая водораздельная зона характеризуется исключительно моренными и водно-флювиогляциальными типами и формами рельефа. Речные долины имеют троговое происхождение, связанное исключительно с ледниковыми карами. Кударский кар характеризуется повышенной подвижностью каменного глетчера вследствие погребенного льда. В летние месяцы происходит частичное таяние этого льда, что вызывает смещение обломочной массы и магистрального газопровода. Источниками лавино-селевой опасности являются кары с ледниками, мореной и коллювием, а также пролювиальные и делювиальные накопления большой мощности. Сносимая каменная масса приводит к перекрытию и разрушению сезонного притрассового проезда, несмотря на укрепление водотоков спецплиткой и водоотводными трубами.

3) В верховьях рр. Цитидон и Земегондон главные и локальные неотектонические структуры не согласуются друг с другом по морфологии и условиям образования, что указывает на разнотипное по напряженному состоянию развитие. Двалетское поднятие, как и находящееся восточнее Мтиулетское поднятие, рассматриваются как новейшие антиклиналы, формирующиеся в условиях напряжений сжатия. В приповерхностных условиях они подвергаются воздействию напряжений растяжения, возможно в связи с нахождением поднятий на южном крыле свода Большого Кавказа.

Нами не исключается, что находящиеся за пределами района исследований Уцерско-Павлеурская взбросовая зона, Главный Кавказский надвиг, Рача-Лечхумская зона грабенов и Тибский разлом альпийского возраста также подвергаются влиянию разнотипных напряжений. Современная активность Уцерско-Павлеурского взброса в рельефе выражена узким понижением, соответствующим зоне растяжения. В рельефе Главный Кавказский надвиг представлен флексурой растяжения. Рача-Лечхумская зона грабенов на современной стадии развития испытывает сжатие, подтвержденное механизмами очагов Рачского землетрясения, включая афтершоки. Таким образом, зоны нарушений находятся под влиянием одновременно суммарных альпийских и современных (голоценовых) напряжений, которые могут не согласовываться структурно-кинематическому типу. С нашей точки зрения, современные геодинамические условия рассматриваемого района являются одной из причин образования зон нарушений и концентрации в них напряжений сейсмогенного типа.

Литература

1. Добрев Н. Б., Иванов П. Г., Свалова В. Б., Заалишвили В. Б., Дзеранов Б. В. Опасные экзогенные процессы в горных районах Северного Кавказа и Болгарии. // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2019. – Т. 4. №4 (18). – С. 5-14.
2. Заалишвили В. Б., Бергер М. Г., Мельков Д. А. Задачи инструментального мониторинга Казбекского вулканического центра. // Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: современные вызовы и методы исследований. – Владикавказ: ГФИ ВНИЦ РАН, 2017. – С. 416-422.
3. Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного (Уточнение исходной сейсмичности. Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск). / В. Н. Аверьянова, Ю. И. Баулин, Г. Л. Кофф [и др.]; научный редактор профессор С. И. Полтавцев; Минстрой России, Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) [и др.]. – Москва, 1996. – 106 с.
4. Макеев В. М., Макарова Н. В., Леденев В. Н., Дорожко А. Л. Основы концепции геодинамической безопасности экологически опасных сооружений. // Геоэкология. – 2015. – №2. – С. 99-110.
5. Макеев В. М., Ревазов М. О., Болотаева А. Г. Пространственное распределение зон нарушений в РСО – Алания. // Коллект. монография VIII межд. конф. «Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии». – 2022. – С86-90.
6. Милановский Е. Е. Новейшая тектоника Кавказа. – М.: Недра, 1968. – 484 с.
7. Несмеянов С. А. Инженерная геотектоника. – М.: Наука, 2004. – 780 с.
8. Ольховский Г. П., Тибилов С. М. Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии. // МПР РФ, Госкомнедра РСО-Алания, Северо-Осетинское горно-геолог. – Владикавказ: «Севосгелогоразведка», 1998. – 491 с.
9. Рогожин Е. А., Овсяченко А. Н., Лутиков А. И., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Горбатилов А. В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. – М.: ИФЗ РАН, 2014. – 256 с.
10. Свалова В. Б. Управление геоэкологическим риском и проблемы устойчивого развития горных территорий. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 12 (1). – С. 129-147. DOI: 10.46698/VNC.2022.48.61.010
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. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005
12. Энна Н. Л., Письменный А. Н. Геологическое доизучение площадей (ГДП-200) в пределах восточного сегмента зоны Главного хребта Центрального Кавказа (листы К-38-IX, XV)». Книга 1. – Ессентуки: ФГУГП «Кавказгеолсъёмка», 2006. – 231 с.
13. Declan A. Valters Modelling Geomorphic Systems: Landscape Evolution. // Geomorphological Technique. – 2016. – Chap. 5. – Sec. 6.12. – pp. 312-320.
14. Di Toro G., Han R., Hirose T. Fault lubrication during earthquakes. Nature. – 2011. – Vol. 471 – pp. 494-498.
15. Gamkrelidze I. P., Pruidze M. P., Gamkrelidze M. I., Loladze V. I. Tectonic map Georgia. / Editor: I. P. Gamkrelidze. Scale 1:500000. Georgian National Academy of Sciences. Alexandre Janelidze Geological Institute of Georgian Ministry of Education and science. Georgian Ministry of Environment and Natural Resources. – 2009.
16. Gee D. G., Zeyen H. J. EUROPROBE 1996. – Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents. // Uppsala University. – 1996. – 138 p.
17. Kravchenko I. M., Pikulik E. A., Makeev V. M., Gousseltsev A. S., Makeeva E. A. Structural-geomorphological conditions of the Balakovo Nuclear Power Plant site in terms of the stability. // Research Earth Sciences. – 2022. – pp. 17-28.
18. Korzhenkov A. M., Deev E. V., Korzhenkova L. A., Rogozhin E. A. Strong Seismic Activity of the Terskey Ala-Too Range Adyrs, Northern Tien Shan, in the Holocene from Radiocarbon

Analysis Data. // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2022. – Vol. 58. No. 2. – pp. 243-266.

19. Makeeva E.A., Makeev V.M. Principles of studying Quaternary deformations based on structural and geodynamic studies. // *Recent Research and Perspectives on Fundamental and Applied Problems of Geology and Geophysics (ReEarth-378)*. «Springer Nature». – 2022. – pp. 37-46.

20. Rogozhin E.A., Gorbaticov A.V., Zaalishvili V.B., Stepanova M.Y., Andreeva N.V., Kharazova, Y.V. New data on the deep structure, tectonics, and geodynamics of the Greater Caucasus. // *Doklady Earth Sciences*. – 2015. – Vol. 462 (1). – pp. 543-545. DOI: 10.1134/S1028334X15050244

21. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2020. – Vol. 88. – pp. 104108.

22. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kanukov A.S., Dzeranov B.V., Shepelev V.D. Application of microseismic and calculational techniques in engineering-geological zonation. // *International Journal of GEOMATE*. – 2016. – Vol. 10 (1). – pp. 1670-1674.

23. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Morozov F.S., Tuaev G.E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. // *International Journal of GEOMATE*. – 2018. – Vol. 15 (47). – pp. 158-163. DOI: 10.21660/2018.47.20218

References

1. Dobrev N.B., Ivanov P.G., Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V. Hazardous exogenous processes in the mountains of the North Caucasus and Bulgaria. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2019. Vol. 4. No. 4. pp. 5-14. (in Russ.)
2. Zaalishvili V.B., Berger M.G., Melkov D.A. Problems of Instrumental Monitoring of the Kazbek Volcanic Center. In: *Geol. and geoph. studies of the deep structure of the Caucasus*. Vladikavkaz, GPI VSC RAS. 2017. pp. 416-422. (in Russ.)
3. Averyanova V.N., Baulin Yu.I., Koff G.L. Comprehensive assessment of the seismic hazard of the territory of Grozny (Refining baseline seismicity. Seismic microzonation. Seismic risk). Ministry of Construction of Russia, PNIIS. Moscow. 1996. 106 p. (in Russ.)
4. Makeev V.M., Makarova N.V., Ledenev V.N., Dorozhko A.L. Fundamentals of the concept of geo-dynamic safety of environmentally hazardous structures. *Geoecology*. 2015. No. 2. pp. 99-110. (in Russ.)
5. Makeev V.M., Revazov M.O., Bolotayeva A.G. Spatial distribution of disturbance zones in North Ossetia – Alania. In: *VIII int. conf. Haz. nat. and anth. proc. in mount. regions*. 2022. pp. 86-90. (in Russ.)
6. Milanovsky E.E. *Recent tectonics of the Caucasus*. Moscow. Nedra. 1968. 484 p. (in Russ.)
7. Nesmeyanov S.A. *Engineering geotectonics*. Moscow. Nauka. 2004. 780 p. (in Russ.)
8. Olkhovsky G.P., Tibilov S.M. Compilation of a specialized geological basis at a scale of 1:50,000 for the prognostic-metallogenic map of Mountainous Ossetia. MNR, State Subsoil Committee of RNO-A, Vladikavkaz, Sevogeologorazvedka. 1998. 491 p. (in Russ.)
9. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Lutikov A.I., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Gorbaticov A.V. *Endogenous hazards of the Greater Caucasus*. Moscow. IPE RAS. 2014. 256 p. (in Russ.)
10. Svalova V.B. Geoecological risk management and problems of sustainable development of mountain territories. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12 (1). pp. 129-147. DOI: 10.46698/VNC.2022.48.61.010 (in Russ.)
11. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain areas. *Geology and Geophysics of Russian South*.

2020. Vol. 10 (4). pp. 70-100. (in Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.

12. Enna N.L., Pismenny A.N. Geological additional study of areas (GDP-200) within the eastern segment of the zone of the Main Range of the Central Caucasus (sheets K-38-IX, XV). Book 1. Essentuki, FSUGE Kavkazgeolsemka. 2006. 231 p. (in Russ.)

13. Valters D.A. Modelling Geomorphic Systems: Landscape Evolution. Geomorphological Technique. 2016. Chap. 5. Sec. 6.12. pp. 312-320.

14. Di Toro G., Han R., Hirose T. Fault lubrication during earthquakes. *Nature*. 2011. Vol. 471 pp. 494-498.

15. Gamkrelidze I.P., Pruidze M.P., Gamkrelidze M.I., Loladze V.I. Tectonic map Georgia. Scale 1:500000. Georgian National Academy of Sciences. Alexandre Janelidze Geological Institute of Georgian Ministry of Education and science. Georgian Ministry of Environment and Natural Resources. 2009.

16. Gee D.G., Zeyen H.J. EUROPROBE 1996. Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents. Uppsala University. 1996. 138 p.

17. Kravchenko I.M., Pikulik E.A., Makeev V.M., Gousseltsev A.S., Makeeva E.A. Structural-geomorphological conditions of the Balakovo Nuclear Power Plant site in terms of the stability. *Research Earth Sciences*. 2022. pp. 17-28.

18. Korzhenkov A.M., Deev E.V., Korzhenkova L.A., Rogozhin E.A. Strong Seismic Activity of the Terskey Ala-Too Range Adyrs, Northern Tien Shan, in the Holocene from Radiocarbon Analysis Data. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2022. Vol. 58. No. 2. pp. 243-266.

19. Makeeva E.A., Makeev V.M. Principles of studying Quaternary deformations based on structural and geodynamic studies. *Recent Research and Perspectives on Fundamental and Applied Problems of Geology and Geophysics (ReEarth-378)*. Springer Nature. 2022. pp. 37-46.

20. Rogozhin E.A., Gorbaticov A.V., Zaalishvili V.B., Stepanova M.Y., Andreeva N.V., Kharazova, Y.V. New data on the deep structure, tectonics, and geodynamics of the Greater Caucasus. *Doklady Earth Sciences*. 2015. Vol. 462 (1). pp. 543-545. DOI: 10.1134/S1028334X15050244

21. 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. 88. pp. 104108.

22. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kanukov A.S., Dzeranov B.V., Shepelev V.D. Application of microseismic and calculational techniques in engineering-geological zonation. *International Journal of GEOMATE*. 2016. Vol. 10 (1). pp. 1670-1674.

23. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Morozov F.S., Tuaeov G.E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. *International Journal of GEOMATE*. 2018. Vol. 15 (47). pp. 158-163. DOI: 10.21660/2018.47.20218