

УДК 551.24

DOI: 10.46698/e0666-8690-8412-z

Оригинальная статья

Активная тектоника Даргавской и Фиагдонской котловин в Северной Осетии

А.Н. Овсяченко^{1,2}, Е.Д. Едемский³, А.М. Корженков¹,
В.Б. Заалишвили^{2,4}, А.С. Ларьков¹, А.А. Аверин³, Ю.В. Бутанаев⁵,
Н.Г. Кошевой¹

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва,
ул. Б. Грузинская, 10, стр. 1, e-mail: ovs@ifz.ru;

² Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а;

³ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН, Россия, 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4;

⁴ Центральный научно-исследовательский и проектный институт
Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской
Федерации, Россия, 119331, г. Москва, пр. Вернадского, 29;

⁵ Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН,
Россия, 667007, г. Кызыл, ул. Интернациональная, 117а

Статья поступила: 10.10.2025, доработана: 27.11.2025, принята к публикации: 01.12.2025

Резюме: Актуальность работы определяется назревшей необходимостью разработки принципиально новой сейсмотектонической модели Большого Кавказа, в содержание которой, помимо пространственных параметров и сейсмического потенциала зон возможных очагов землетрясений, должны войти повторяемость землетрясений с $M_{\max}$ и кинематика прогнозных смещений в очаге на основе прямых данных. **Цель работы** заключается в детальном изучении очаговых зон сильных землетрясений Северо-Юрской депрессии. **Методы исследования:** методы палео-, археосейсмологии, георадарное профилирование, сориентированные на получение конкретных параметров очагов палео- и исторических землетрясений. Эти методы позволяют подойти к проблеме реконструкции долговременного сейсмического режима на основе прямых данных о возрасте и масштабах проявления конкретных сейсмических событий за представительный интервал времени. **Результаты работы.** Собраны прямые данные о пространственном положении, возрасте, кинематике и величине сейсмотектонических подвижек по молодым тектоническим разрывам Даргавской и Фиагдонской котловин, которые представляют собой первичный материал для построения сейсмотектонической модели Северо-Юрской депрессии, как крупнейшей сейсмогенерирующей структуры. Тесная взаимосвязь древних селений с активными разломами позволяет использовать их в качестве надежных маркеров для определения возраста и величины молодых одноактных смещений. Установлена разломная природа обрыва Скалистого хребта. В пределах Даргавской и Фиагдонской котловин продольные разрывы образуют три основных системы с разной кинематикой смещений. По данным о параметрах сейсмотектонических подвижек по отдельным разрывам, в историческое время здесь происходили сильные землетрясения с $M=6.5-6.8$ (Средняя и Южная системы) и $M=6.8-7.2$ (Северная). Интервал повторяемости сильных землетрясений по разным данным составляет 250–500 лет. Определенная прямыми методами доминирующая правосторонняя взбросо-сдвиговая кинематика смещений для разломных систем Северо-Юрской депрессии соответствует сейсмологическим и геодезическим данным.

Ключевые слова: Большой Кавказ, Северная Осетия, оценка сейсмической опасности, активные разломы, палеосейсмология, археосейсмология.

Благодарности: Научная программа выполнена по Государственному заданию ГФИ ВЦ РАН и ИФЗ РАН. Георадарные исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 22-12-00083-П.

Для цитирования: Овсяченко А.Н., Едемский Е.Д., Корженков А.М., Заалишвили В.Б., Ларьков А.С., Аверин А.А., Бутанаев Ю.В., Кошевой Н.Г. Активная тектоника Даргавской и Фиагдонской котловин в Северной Осетии. *Геология и геофизика Юга России*. 15(4): 78–96. DOI: 10.46698/e0666-8690-8412-z

GEOPHYSICS

DOI: 10.46698/e0666-8690-8412-z

Original paper

Active tectonics of the Dargavs and Fiagdon basins in North Ossetia

A.N. Ovsyuchenko^{1,2}, E.D. Edemsky³, A.M. Korzhenkov¹,
V.B. Zaalishvili^{2,4}, A.S. Larkov¹, A.A. Averin⁵, Yu.V. Butanayev⁵,
N.G. Koshevoy¹

¹ Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences,
10/1 B. Gruzinskaya, Moscow 123242, Russian Federation,
e-mail: ovs@ifz.ru;

² Geophysical institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation;

³ Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation,
Russian Academy of Sciences, 4 Kaluzhskoe highway, Moscow,
Troitsk 108840, Russian Federation;

⁴ Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing
and Communal Services of the Russian Federation, 29 Vernadskogo Pr., Moscow 119331,
Russian Federation;

⁵ Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, 117a Internatsionalnaya Str., Kyzyl 667007,
Russian Federation

Received: 10.10.2025, revised: 27.11.2025, accepted: 01.12.2025

Abstract: The relevance of this work is determined by the urgent need to develop a fundamentally new seismotectonic model of the Greater Caucasus. This model, in addition to spatial parameters and the seismic potential of potential earthquake source zones, should include the recurrence of Mmax earthquakes and the kinematics of predicted source displacements based on direct data. **The aim** of the work is to conduct a detailed study of the source zones of strong earthquakes in the North Jurassic Depression. **Research methods:** paleoseismology, and ground-penetrating radar profiling, aimed at obtaining specific source parameters of paleo- and historical earthquakes. These methods allow us to approach the problem of reconstructing long-term seismic regimes based on straight data on the age and scale of seismic events over a representative time interval. **Results.** Straight data on the age, kinematics and values of seismotectonic offsets along young tectonic faults of the Dargavs and Fiagdon basins were collected. This data represent the primary material for constructing a seismotectonic model of the North Jurassic Depression, as the largest seismic source. The close relationship between ancient settlements and active faults allows them to be used as reliable markers for determining the age and offset of seismic ruptures. The fault nature of the Skalisty Ridge scarp has been

established. Within the Dargavs and Fiagdon basins, longitudinal faults form three main systems with different rupture kinematics. According to seismic rupture parameters along individual faults, strong earthquakes with magnitudes of 6.5–6.8 (Middle and Southern systems) and 6.8–7.2 (Northern) occurred here in historical times. The recurrence interval of strong earthquakes, according to various sources, is 250–500 years. The dominant dextral reverse-slip kinematics determined for the fault systems of the North Jurassic Depression corresponds to seismological and geodetic data.

Keywords: Greater Caucasus, Northern Ossetia, seismic hazard assessment, active faults, paleoseismology, archeoseismology.

Acknowledgements: *The scientific program was carried out according to the State assignment of the Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. Georadar studies were carried out with the support of a grant from the Russian National Science Foundation No. 22-12-00083-П.*

For citation: Ovsyuchenko A.N., Edemsky E.D., Korzhenkov A.M., Zaalishvili V.B., Larkov A.S., Averin A.A., Butanayev Yu.V., Koshevoy N.G. Active tectonics of the Dargavs and Fiagdon basins in North Ossetia. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 15(4): 78–96. DOI: 10.46698/e0666-8690-8412-z

Введение

В широкой полосе между высокогорьем Большого Кавказа и Предкавказским передовым прогибом в позднем плиоцене оформились чешуйчато-надвиговая моноклиналь Северного крыла и, расположенная к югу от него, Северо-Юрская депрессия [Милановский, 1968]. По данным спутниковой геодезии скорость современного горизонтального сокращения здесь составляет 1–2 мм/год [Милюков и др., 2018]. При этом на инструментальном этапе сейсмологических наблюдений эта активная тектоническая структура проявила умеренный уровень сейсмической активности [Рогожин и др., 2014; Vorobieva et al., 2023]. Однако, о более сильных землетрясениях, неоднократно происходивших здесь на протяжении голоцена, свидетельствуют результаты палео-, архео- и историко-сейсмологических исследований [Никитин и др., 1993; Рогожин и др., 2005; 2014; Корженков и др., 2023; 2025; Овсюченко и др., 2024].

В последние годы нами проводятся детальные исследования активных тектонических структур, направленные на разработку детальной сеймотектонической модели Большого Кавказа в целях оценки сейсмической опасности. Общеизвестно, что землетрясение представляет собой результат импульсного смещения участков земной коры по активному разлому, поэтому каркас сеймотектонической модели образуют активные тектонические структуры. Статья посвящена результатам детальных исследований активных тектонических структур Даргавской и Фиагдонской котловин в Северной Осетии.

Методы исследований

Определение активных разломов, как структур, по которым происходили тектонические смещения на протяжении позднего плейстоцена – голоцена, т.е. последних 100–130 тыс. лет [Trifonov, 2004], предопределяет методические принципы их исследования – выявление и детальное изучение деформаций форм рельефа и отложений соответствующего возраста. Наиболее предпочтительными для детальных исследований являются поверхности накопления слоистых позднелейстоцен-голоценовых отложений, маркирующих собой опорные уровни, используемые для возрастной привязки деформаций. В целях изучения активной

тектоники также исследуются разнообразные молодые формы рельефа. Использование геоморфологических методов в таких исследованиях выполнено в русле структурно-геоморфологического подхода или тектонической геоморфологии [Флоренсов, 1978; Burbank, Anderson, 2012]. Полевые исследования проводились с использованием палеосейсмологического подхода. Основная задача – выявление и прослеживание одноактных и разновозрастных сеймотектонических уступов, рвов и валов в разновозрастных формах рельефа, включая проходку горных выработок для изучения нарушений в молодых отложениях [Солоненко, 1973; McCalpin, 2009]. По отношению к сейсмическому очагу такие нарушения являются первичными, т.е. представляют собой выход очага землетрясения на поверхность. Поэтому исследования были нацелены на определение величины и кинематики одноактной подвижки, которые напрямую связаны с магнитудой землетрясения [Wells, Coppersmith, 1994 и др.]. Кроме молодых форм рельефа и отложений важными хронологическими маркерами являются разнообразные памятники человеческой деятельности, позволяющие выявлять и датировать самые молодые тектонические деформации.

Разрезы молодых отложений на всех выявленных активных разломах изучены методом георадарного профилирования, георадаром повышенной мощности «ЛЮЗА-В» [Berkut et al., 2017], который применяется для решения различных задач в области геологии, археологии, мерзлотоведения и т.д. Амплитуда зондирующего импульса составляет 5 кВ, а ширина импульса 7–10 нс. Антенна с центральной частотой 50 МГц способна обеспечивать глубину зондирования порядка 20–25 м при разрешающей способности ~ 0.5 м. Обработка георадарных данных включала в себя подбор коэффициента усиления сигнала, применение полосовой фильтрации сигнала и функции усреднения, а также отображение результатов в виде функции амплитуды или производной волновой формы принятого сигнала. Для преобразования георадарных разрезов из временного масштаба в масштаб глубин и оценки глубины залегания отдельных элементов разреза, применена усредненная скорость распространения электромагнитной волны $V = 0.12$ м/нс, которая получена методом общей глубинной точки, а также в результате анализа георадарных профилей, отражений зондирующего импульса от локальных объектов. При анализе и локализации разрывов в молодых отложениях использованы такие основные признаки, как: разрывы осей синфазности с их смещением или изменением угла наклона; образование дифрагированных волн по линии разрыва; формирование локальных зон профиля с изменением волновой текстуры отражений по линии разрыва [Едемский, Прокопович, 2024].

Результаты исследований

В днище и бортах Даргавской и Фиагдонской котловин прослежены зоны прямолинейных уступов, валов и ложбин, имеющих разное простирание и кинематику смещений, которые можно объединить в 4 основные системы: Северную, Среднюю, Южную и Субмеридиональную (рис. 1). Первые три ветви вытянуты вдоль простирания основных морфоструктур – Скалистого хр. и Северо-Юрской депрессии. 4-я ветвь (Субмеридиональная) имеет поперечную ориентировку и вытянута на коротком отрезке вдоль правого борта долины р. Гизельдон.

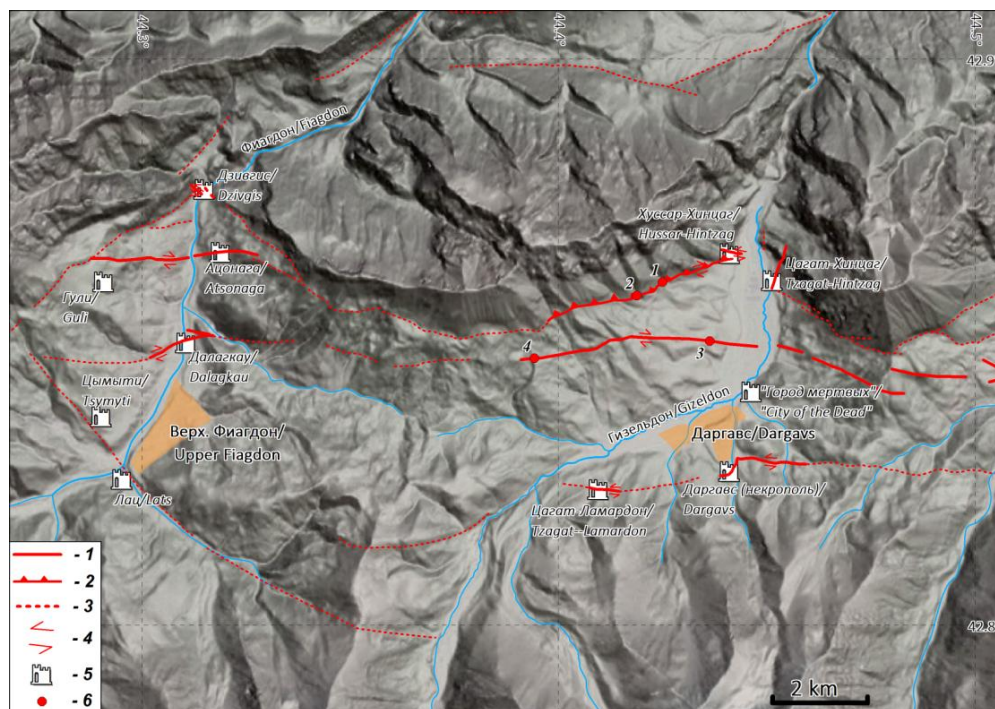


Рис. 1. Схема активных разломов Даргавской и Фиэгдонской котловин.

1, 2 – сейсмотектонические разрывы, изученные в молодых отложениях, формах рельефа и архитектурных памятниках древности (1 – сдвиги; 2 – взбросо-сдвиги, бергштрихи указывают направление падения сместителя); 3 – активные разрывы по структурно-геоморфологическим и дистанционным данным; 4 – направление горизонтального смещения по разрывам; 5 – изученные древние поселения со следами землетрясений; 6 – точки наблюдения, описываемые в тексте /

Fig. 1. Scheme of the Dargavs and Fiagdon basin.

1, 2 – active faults studied in young deposits, relief forms and ancient architectural sites (1 – strike-slip faults; 2 – oblique-slip faults); 3 – active faults by structural-geomorphological and remote sensing data; 4 – direction of horizontal displacement along faults; 5 – studied ancient settlements with evidences of earthquakes; 6 – observation points described in the text

Северная ветвь нарушений образует ярко выраженную северную границу котловины с моноклиналью Северного крыла, представленную грандиозным обрывом Скалистого хребта, в котором обнажены позднеюрско–меловые массивные известняки и доломиты. Вдоль подножия обрыва почти сплошной полосой протягивается мощный шлейф коллювиально–оползневых накоплений, скрывающий зону разлома, формирующую обрыв Скалистого хребта. Простираение системы нарушений меняется в противоположных бортах долины р. Гизельдон с СВ на СЗ, что отражает общее падение субширотной разломной зоны в северном направлении.

В западном (левом) борту долины р. Гизельдон прослежен правосторонний взбросо-сдвиг ВСВ простираения. Долины ручьев по нему смещены вправо на 15–20 м (рис. 2, а). Разлом представлен зоной брекчирования, вдоль которой скальный борт долины временного водотока был срезан и выдвинут в горизонтальном направлении на 18–20 м, образовав отвесный скальный обрыв высотой до 25 м. Основная плоскость смещения имеет крутое (70–80°) падение в СЗ направлении (310–320°) (рис. 2, с). Борозды скольжения имеют средний наклон к горизонту 40–50°, что говорит о равном вкладе горизонтальной и вертикальной компонент смещений. Самая молодая, последняя генерация плоскости смещения отличается очень хорошей сохранностью – она покрыта единичными лишайниками и карсто-

выми кавернами (рис. 2, d). Размеры плоскости смещения последней генерации, по всей видимости, соответствуют величине одноактной подвижки – 1–1.5 м.

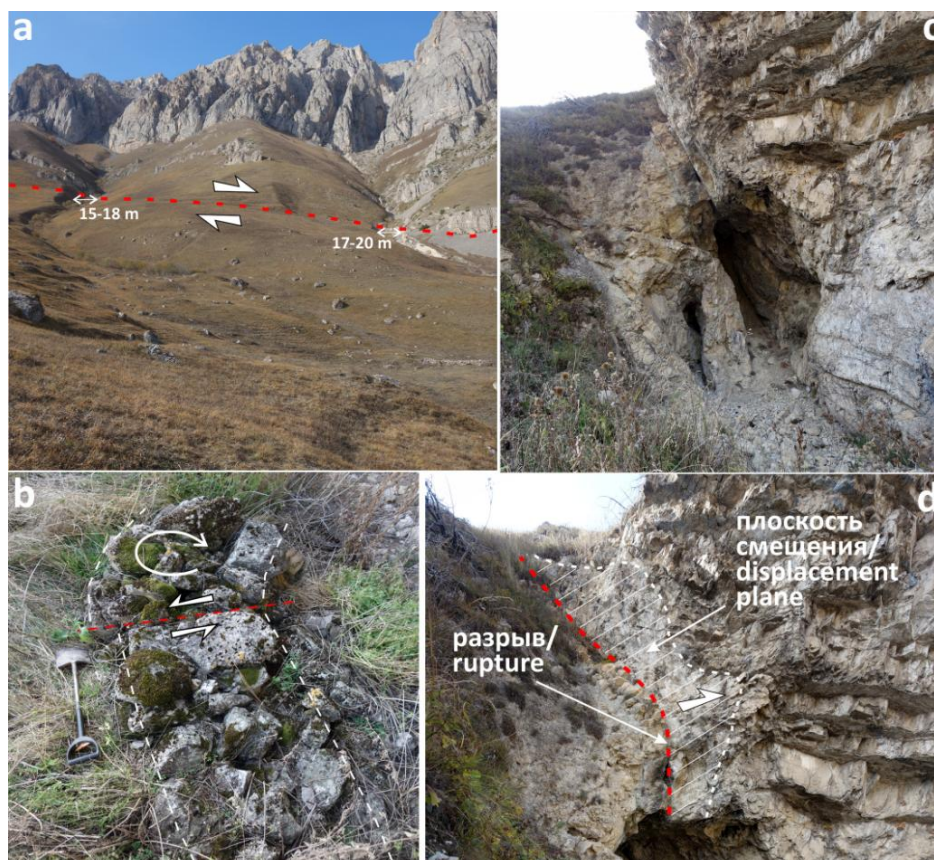


Рис. 2. Смещения и приразломные деформации по разлому в подножии главного обрыва Скалистого хребта. а – сдвиг долин ручьев в т. 2 на рис. 1, б – разрыв, разворот и увеличение толщины фрагмента стены древней постройки возле разлома в результате приразломного сжатия, т. 1 на рис. 1, с – общий вид разлома в разрезе, т. 1 на рис. 1, д – последняя генерация плоскости смещения, т. 1 на рис. 1 /

Fig. 2. Displacements and near-fault deformations along the fault at the foot of the main scarp of the Scalisty Ridge. a – offset of stream valleys, point 2 in Fig. 1, b – offset, rotation and increase in thickness of a wall fragment of an ancient building near a rupture as a result of near-fault compression, point 1 in Fig. 1, c – general view of the fault in section, point 1 in Fig. 1, d – latest generation of the displacement plane, point 1 in Fig. 1

Кроме смещения позднеголоценовых форм рельефа, о молодом возрасте последней подвижки свидетельствуют деформации стен прямоугольного древнего (скорее всего средневекового) строения, расположенные в 2–4 м от разрыва (рис. 2, b). Стены испытали продольное сдавливание с увеличением толщины и разворот ближайшего к разрыву фрагмента стены по часовой стрелке вдоль короткого оперяющего левого сдвига (простираение 310–320°). По всей видимости, деформации имеют сейсмотектоническую природу и образовались в непосредственной близости от очага землетрясения, вышедшего на поверхность. Продольное сжатие стен, ориентированное вдоль разрыва, может свидетельствовать о существенной горизонтальной компоненте смещений по разрыву.

В районе выхода главного обрыва Скалистого хребта к днищу долины р. Гизельдон, в её левом борту выявлен короткий (прослеженная длина около 400 м) левый сдвиг ЗСЗ простираения. В селении Хуссар-Хинцаг, сохранившиеся по-

стройки которого датируются периодом с эпохи средневековья до нового времени [Свод ..., 2021], разрыв представлен горизонтальными смещениями стен в среднем на 30–40 см (подробнее см.: [Корженков и др., 2025]). Левый сдвиг стены-крепиды на 1.2 м, также ориентированный в СЗ направлении, наблюдался на некрополе древнего селения-крепости Дзивгис [Корженков и др., 2023].

К Северной ветви также относится правый сдвиг субширотного (ЗСЗ) простирания, по которому детально изучены разновозрастные смещения древней дороги и стен селения Ацонага, произошедшие за последние 600–700 лет [Овсяченко и др., 2024]. Величина предпоследней подвижки – 0.9–1.1 м; последней – 0.6–0.8 м. Правый сдвиг 1-ой надпойменной террасы долины р. Фиагдон по этому разрыву составляет 8–11 м.

Средняя ветвь в бортах долины р. Гизельдон представлена системой тектонических валов и уступов субширотного простирания. В нижней части долины р. Гизельдон 1-ая надпойменная терраса на пересечении с системой нарушений деформирована – в южном крыле она расположена ниже на 5–6 м (рис. 3). Выше по склону уступ полностью сглажен самыми поздними сельскохозяйственными террасами, но сечет более древние. Здесь наблюдается кулисообразная система валообразных уступов ВСВ простирания высотой до 2 м и субширотных ложбин ЗСЗ ориентировки длиной в первые сотни м. Валы задирают участок древних сельскохозяйственных террас, прилегающий к уступу (рис. 4, б). Нарушения сопровождаются цепочками родников и обильной, густой травянистой растительностью, контрастирующей с соседними склонами. В приводораздельной части склона правосторонние смещения прослеживаются по сдвигам на 17–20 м мелких долин и гребней водоразделов (рис. 4, а). В покровном чехле четвертичных отложений с этими ложбинами связаны грабены шириной в первые метры.

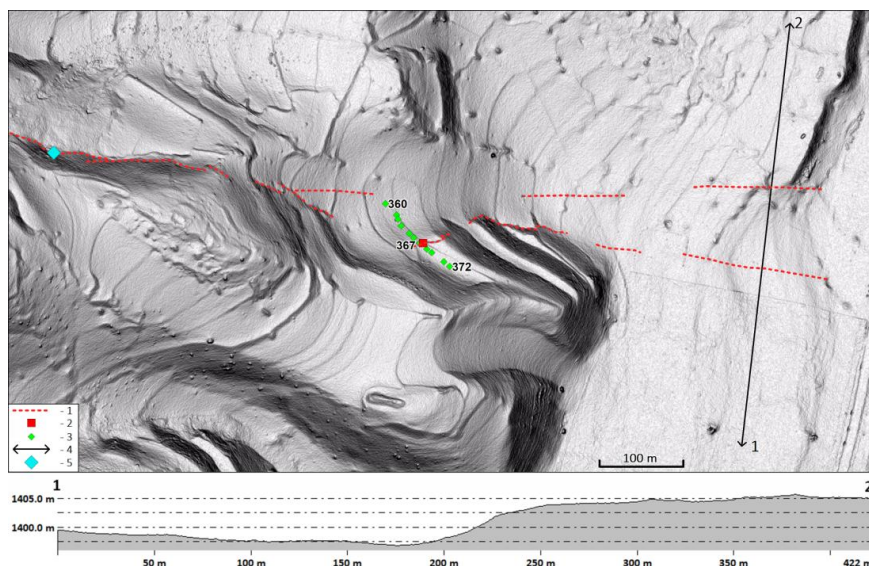


Рис. 3. Цифровая модель рельефа левого борта долины р. Гизельдон, т. 3 на рис. 1.

Внизу гипсометрический профиль поверхности 1-ой надпойменной террасы.

1 – система тектонических валов и уступов; 2 – канава; 3 – точки георадарного профиля;
4 – положение гипсометрического профиля; 5 – источник /

Fig. 3. Digital elevation model of the left side of the Gizeldon River valley, point 3 in Fig. 1.

At the bottom is a hypsometric profile of the surface of the first floodplain terrace.

1 – system of tectonic ridges and scarps; 2 – trench; 3 – points of the ground penetrating radar profile;
4 – position of the hypsometric profile; 5 – spring

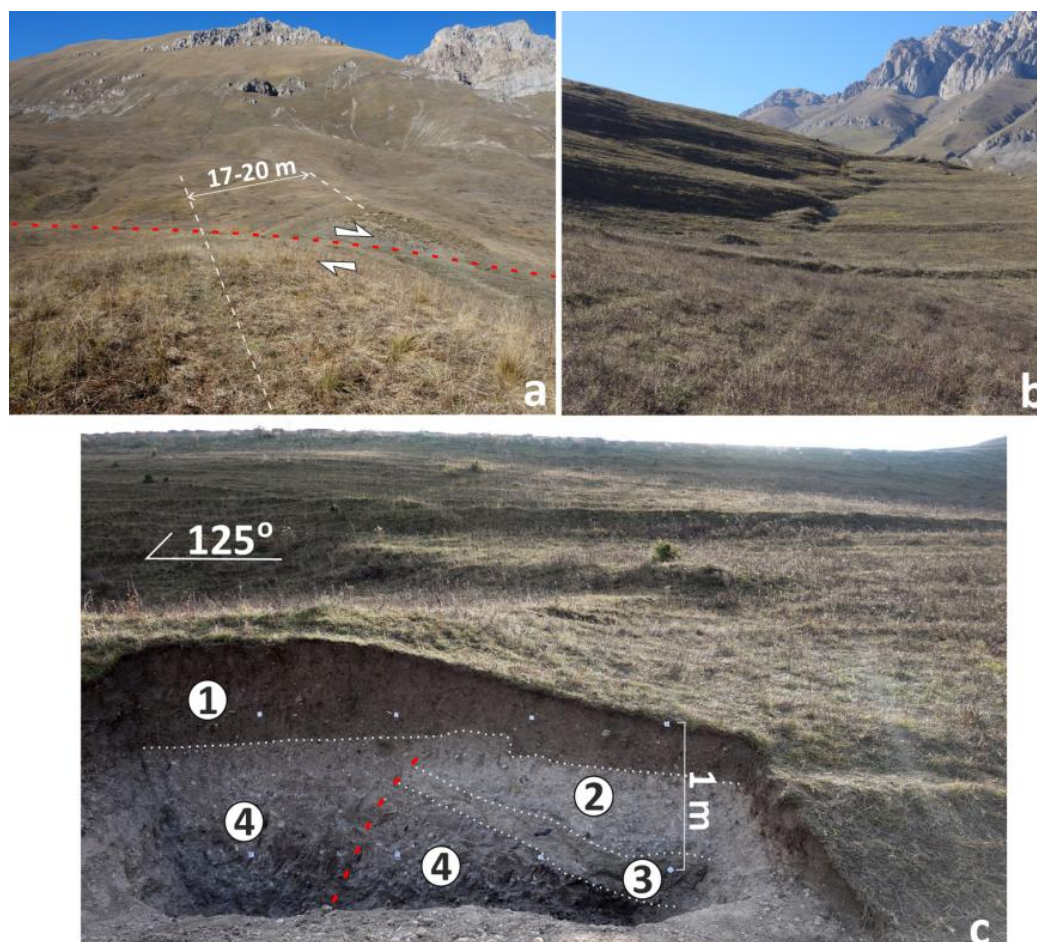


Рис. 4. Тектонические деформации в левом борту долины р. Гизельдон.
 а – сдвиг гребня в т. 4 на рис. 1, б – валообразный уступ, секущий поверхность ранних сельскохозяйственных террас, т. 3 на рис. 1, с – разрез валообразного уступа в стенке канавы, т. 3 на рис. 1: 1 – современный степной чернозем с редким щебнем и дресвой; 2 – массивные, крепкие лессовидные суглинки с щебнем, дресвой и трубкообразными каналами, заполненными белым известковым порошком; 3 – известняковый щебень с известняковой крошкой (до 40 %) (обвал); 4 – светло-серые суглинки (до 60 %) с грубо окатанным щебнем и дресвой (пролювий) /

Fig. 4. Tectonic deformations on the left side of the Gizeldon River valley.
 a – ridge offset at point 4 in Fig. 1, b – swell-shaped scarp cutting the surface of early agricultural terraces, point 3 in Fig. 1, c – section of the swell-shaped scarp in the wall of the trench, point 3 in Fig. 1: 1 – modern steppe chernozem; 2 – massive, strong loess with crushed stones and tubular channels; 3 – limestone crushed stones with limestone crushes (up to 40 %) (avalanche); 4 – light gray clay loam (up to 60 %) with coarsely rounded crushed stones (proluvium)

Строение вала сжатия ВСВ простирания ($65\text{--}75^\circ$) изучено в специальной пройденной канаве, где вскрыт пологий надвиг (угол падения $15\text{--}20^\circ$), соответствующий уступу на поверхности сельскохозяйственной террасы (рис. 4, с). Вдоль разрыва склоновые суглинки надвинуты на обвальные отложения и образуют ступень (вертикальное смещение на 20–25 см) в основании современного степного чернозема. На георадарном разрезе вала сжатия соответствует разрыв с валообразным воздыманием границ георадарных комплексов, проникающий в самые верхние слои разреза (рис. 5).

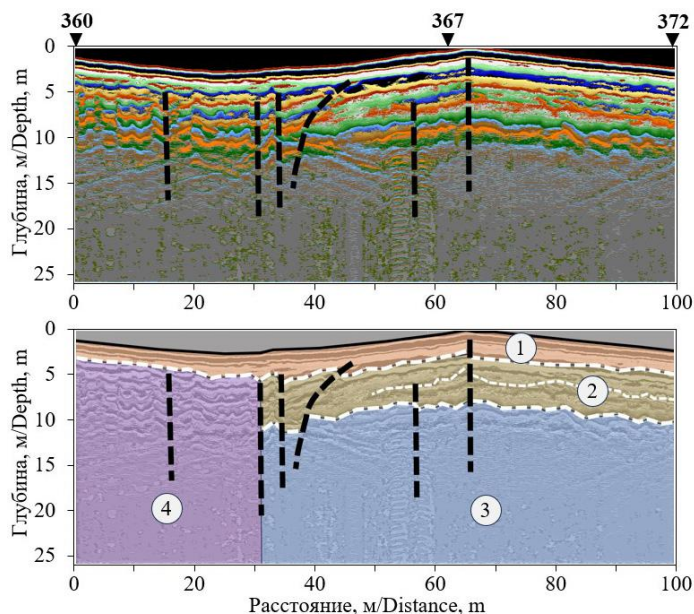


Рис. 5. Георадарный профиль 360-372, положение на рис. 4. 1, 2, 3, 4 – георадарные комплексы. Черные штриховые линии – разломы /
Fig. 5. Ground penetrating radar profile 360-372, position in Fig. 4. 1, 2, 3, 4 – ground penetrating radar complexes.
Black dashed lines – faults

В Фиагдонской котловине Средняя ветвь изучена в днище долины, в районе древнего селения Даллагкау (Барзикау) (рис. 6).

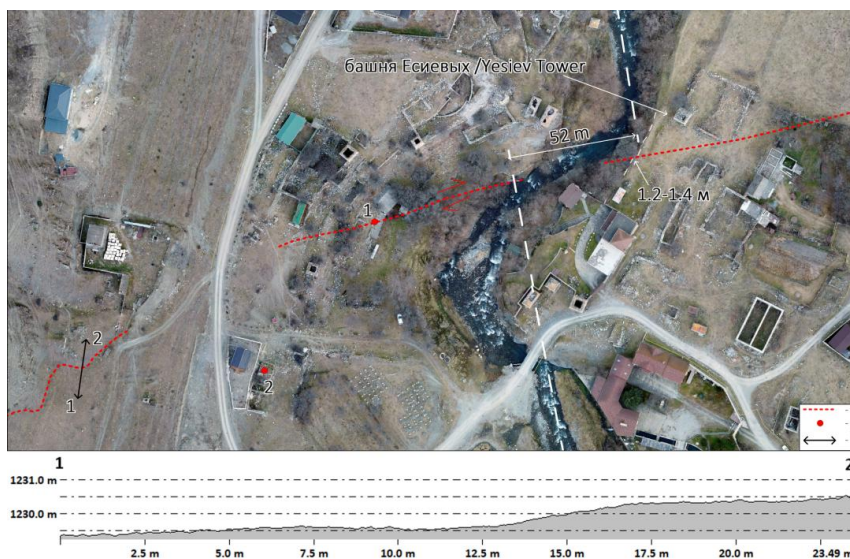


Рис. 6. Фотоплан дна долины р. Фиагдон в центральной части древнего селения Даллагкау (Барзикау). Внизу гипсометрический профиль поверхности 2-ой надпойменной террасы на пересечении с тектоническим уступом.
1 – система тектонических ложбин и уступов; 2 – точки;
3 – положение гипсометрического профиля /

Fig. 6. Plan of the bottom of the Fiagdon River valley in the central part of the ancient settlement of Dallagkau (Barzikau). At the bottom is a hypsometric profile of the surface of the second floodplain terrace.

1 – system of tectonic hollows and scarps; 2 – points; 3 – position of the hypsometric profile

На гребне водораздела к СВ от селения в юрских сланцах наблюдается асимметричная приразломная антиклиналь, крутое крыло которой подорвано серией взбросо-надвигов. В русловом врезе р. Фиагдон в северном крыле наблюдается выступ смятых в приразломную антиклиналь юрских сланцев, резко погружающихся под аллювиальные наносы в южном крыле. Общее правостороннее смещение таль-

вега долины р. Фиагдон достигает 52 м. Бровка уступа 1-ой надпойменной террасы смещена вправо на 1.2–1.4 м.

В древнем селении Даллагкау вдоль разрыва полностью разрушен угол здания (ганаха), примыкавшего к башне Есиевых [Тменов, 1984]. Внутренняя стена этого здания испытала сильные винтообразные изгибы с разрывом сплошности (рис. 7, с). Это свидетельствует о сжатии, ориентированном близко к простиранию стены с утратой целостности конструкции. Внутренние углы стен постройки испытали неравномерную плановую деформацию – сжатие в ЮВ углу, разрушенном вдоль разрыва, и растяжение в противоположном (СЗ) (рис. 7, а). В ЮВ части угол между стенами оказался на 18° меньше противоположного (СЗ). В итоге, стены постройки демонстрируют неравномерную сохранность – восточная и северная стены сохранились гораздо лучше западной и южной, а внутренняя стена испытала сильные деформации сжатия. Видимо, плановую деформацию испытала и башня, приобретая ромбовидную в плане форму. Кроме того, башня испытала направленное обрушение – её северная часть сохранилась на значительно меньшую высоту с отлетом камней в СВ направлении до 9 м в горизонтальном направлении (рис. 7, b).



Рис. 7. Сейсмотектонические деформации построек древнего селения Даллагкау (Барзикау).
а – план башни Есиевых и прилегающей постройки, б – общий вид башни Есиевых с севера,
с – винтообразные изгибы с разрывом сплошности внутренней стены здания, примыкающего к
башне Есиевых, d – смещение стены в центральной части селения Даллагкау, т. 1 на рис. 6 /
Fig. 7. Seismotectonic deformations of the buildings of the ancient settlement of Dallagkau (Barzikau).
a – plan of the Yesiev Tower and adjacent building, b – general view of the Yesiev Tower from the north,
c – spiral bends with a break in the integrity of the internal wall of the building adjacent to the Yesiev
Tower, d – displacement of the wall in the central part of the Dallagkau settlement, point 1 in Fig. 6.

В левом борту Фиагдона разрыв прослеживается в стенах древней постройки, включенной в конструкцию загона для скота возле относительно недавно заброшенного дома. Здесь, в нижней части стены наблюдается правый сдвиг со смеще-

нием на 0.4 м (рис. 7, d). После подвижки стена была отремонтирована в верхней части и включена в новую конструкцию.

Выше по склону, на незастроенном участке с ненарушенной дневной поверхностью, на простирации разрыва прослеживается извилистый уступ высотой 0.8–1 м (рис. 8).

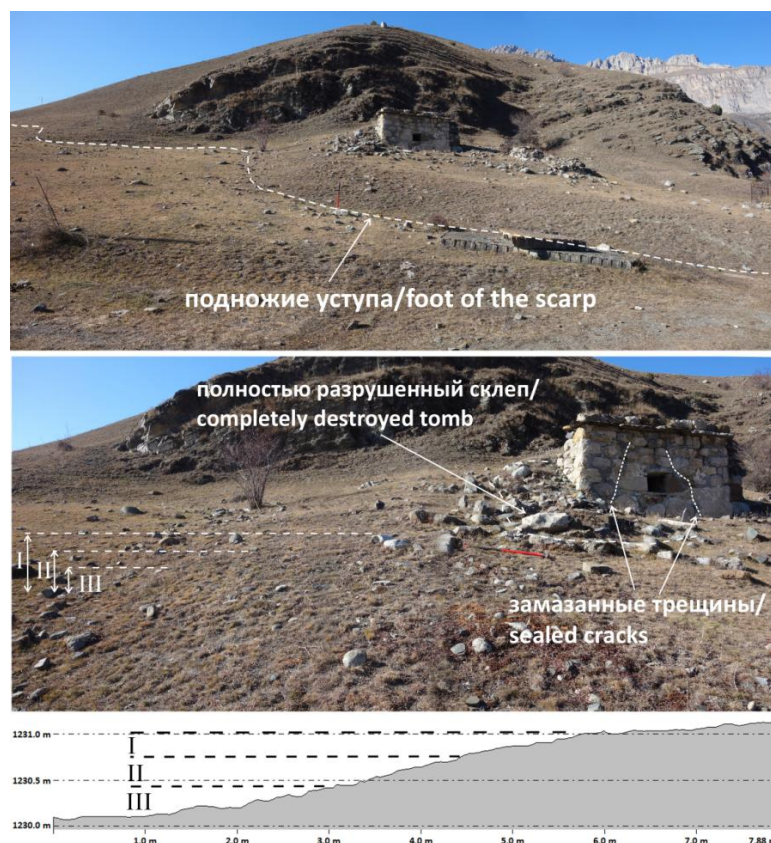


Рис. 8. Сейсмотектонический уступ на западной окраине древнего селения Даллагкау (Барзикау), профиль 1–2 на рис. 6. Римскими цифрами показаны разновозрастные уступы /

Fig. 8. Seismotectonic scarps on the western edge of the ancient settlement of Dallagkau (Barzikau), profile 1–2 in Fig. 6. Roman numerals indicate scarps of different ages

Микрорельеф участка сохранился ненарушенным благодаря расположенному здесь склепу. Морфология уступа свидетельствует о сдвиго-взбросовой кинематике смещений. На склоне уступа выделяются три участка примерно одинаковой высоты (0.25–0.3 м), но с разной крутизной (12°, 10° и 7°). Ступенчатый или ломаный профиль тектонического уступа указывает на сейсмотектоническую дискретность вертикального смещения, при которой крутизна соответствующей части склона уступа напрямую зависит от длительности его разрушения экзогенными процессами, т.е. возраста подвижки. При одинаковой высоте уступов наиболее молодым из них будет тот, чья поверхность круче. Морфология уступа может свидетельствовать о его трехактном подрастании в результате трех подвижек. Об импульсном характере образования уступа также может свидетельствовать резко различная сохранность склепов в его поднятом крыле. Если более древний склеп у бровки уступа оказался полностью разрушен (сохранились только фрагменты стен на 1–2 камня в высоту), то более поздний склеп нарушен двумя замазанными цементом трещинами, по которым произошло незначительное проседание центральной части. Ниже

по склону от уступа башня Гайтовых [Тменов, 1984], сохранившаяся на высоту до 2.5 м, оказалась погребена примерно на 2 м осыпью песчано-глыбового материала, слагающего надпойменные террасы, что может свидетельствовать о её резком опускании в прошлом в опущенном крыле разрыва (т. 2 на рис. 6).

Южная ветвь изучена в заброшенном селении Цагат-Ламардон, на окраине с. Даргавс и в районе заброшенных селений Верх. и Ниж. Кора. В селении Цагат-Ламардон обнаружены левые сдвиги стен, которым по данным георадиолокационного профилирования, соответствует разломная зона, проникающая в самые молодые отложения (рис. 9). Величина левого сдвига стен вдоль разрыва меняется от 1.5–1.7 до 0.4–0.5 м. Основной сдвиг ЗСЗ простирания сопровождается оперяющим сбросом СЗ простирания, выраженным вертикальными смещениями в молодых отложениях (рис. 9, с).

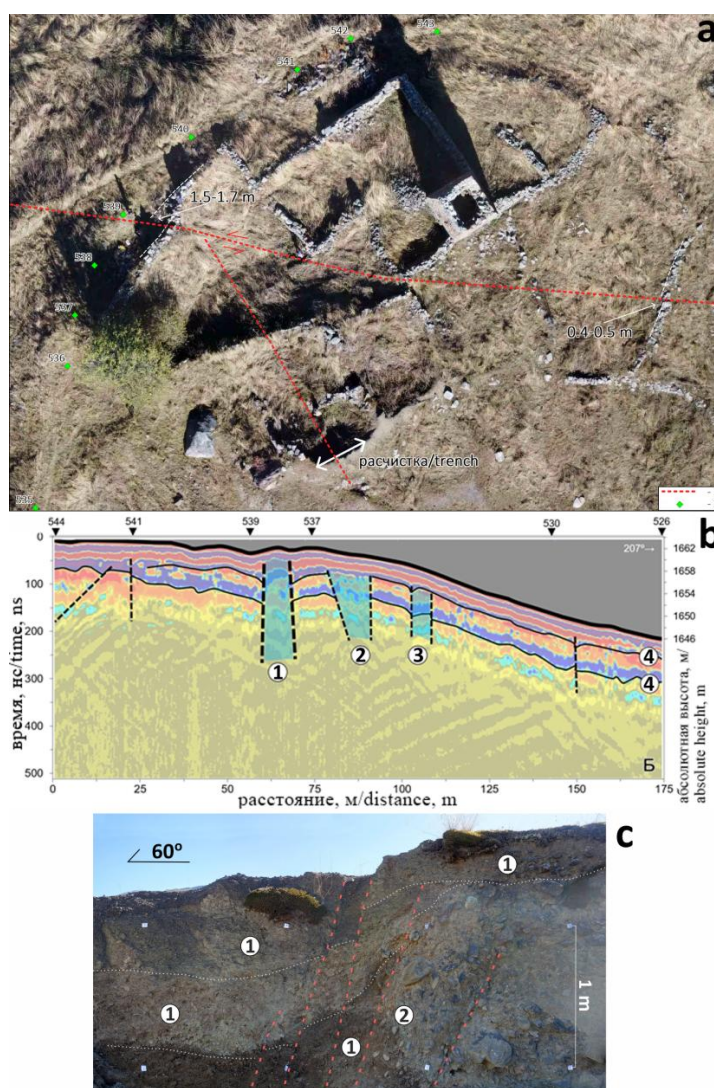


Рис. 9. Тектонические деформации в древнем селении Цагат-Ламардон

а – план центральной части селения: 1 – система тектонических ложбин и уступов (цифрами подписаны левосторонние смещения стен); 2 – точки георадарного профиля, *б* – георадарный профиль: 1, 2, 3 – зоны нарушения строения подповерхностной среды; 4 – маркирующие горизонты; черная штриховая линия – линии разломов; 526–554 – пикеты георадарного профиля, *с* – разрез молодых отложений вкрест простирания разрыва в расчистке: 1 – уплотненный щебень, дресва с супесчаным заполнителем («слоистый щебень», осыпные отложения); 2 – грубо сортированные, по-разному окатанные глыбы, валуны, щебень, галька, дресва в супесчаном заполнителе (пролювий) /

Fig. 9. Tectonic deformations at the ancient settlement of Tsagat-Lamardon
a – photographic plan of the central part of the settlement: 1 – system of tectonic hollows and scarps; 2 – points of the ground penetrating radar profile, b – ground penetrating radar profile: 1, 2, 3 – zones of subsurface faults; 4 – marker horizons; black dashed line – fault lines; 526-554 – profile pickets, c – cross-section of young sediments across the strike of a fault in the trench: 1 – flattened crushed rock, gravel with sandy loam filler (scree deposits); 2 – roughly sorted, differently rounded debris in sandy loam filler (proluvium)

На окраине с. Даргавс, в районе некрополя прослежен тектонический разрыв, выраженный извилистым уступом. В 350 м к СВ от некрополя в подножии уступа обнаружен левый сдвиг подпорной стены сельскохозяйственной террасы на 6 м. Здесь же, примерно на 55 м, смещена влево долина ручья. В некрополе на окраине с. Даргавс, на поднятом крыле уступа, в склепах наблюдаются разрывы раздвигового типа, по всей видимости, возникшие в результате сейсмотектонического подрастания уступа.

Обсуждение результатов

Даргавская и Фиагдонская котловины являются звеньями в субширотной цепочке внутригорных тектонических впадин между Боковым и Скалистым хребтами. В её осевой части трассируется зона регионального Пуйского разлома, представленного на территории Северной Осетии несколькими сегментами (Нузальский, Дзуарикауский, Даллагкау-Даргавский и др.) [Ольховский, Тибилов, 1998]. Тектоническое устройство депрессии осложняется системой грабенов, изученных в долинах рек Ардон и Фиагдон [Шевченко, 1962]. Они секут раннеальпийские складки в юрских отложениях и имеют форму сходящихся вниз клиньев шириной в несколько километров, сформировавшихся вероятнее всего, в условиях горизонтального сдвига. Эти структуры отражают стиль новейших деформаций, а заложение их относится к позднему плиоцену [Милановский, 1968].

Характер голоценовых тектонических деформаций фиксируется современным положением позднеплейстоценовых ледниковых образований. По долинам рек Фиагдон, Гизельдон и Геналдон у подножия Скалистого хребта позднеплейстоценовые морены слагают днища трогов и погребены толщами аллювиально-озерных осадков мощностью в десятки – сотни метров, что свидетельствует об относительном опускании впадины в голоцене [Письменный и др., 2006]. В то же время, в долине р. Ардон они в значительной степени размыты и сохранились в виде прислоненных к склонам валунных суглинков. Это указывает на смену опускания впадины поднятием и фиксирует границу сейсмотектонических сегментов Северо-Юрской впадины с разной интенсивностью молодых деформаций.

Северная граница впадины с моноклиалью Северного крыла, представлена грандиозным обрывом Скалистого хребта. Обрыв и сопутствующий ему мощный шлейф коллювиально-пролювиально-оползневых накоплений подпруживают долины рек Терек, Геналдон, Гизельдон и Фиагдон. Обломочный шлейф протягивается почти сплошной полосой, практически повсеместно скрывая зону разлома, формирующего обрыв Скалистого хребта. По этой причине зона разлома изучена только в самом первом приближении, а на происхождение естественной плотины в долинах рек высказывалось мнение, что её происхождение не требует привлечения каких-то местных тектонических причин [Милановский, 1968]. В то же время, прослеживание слоев мезозойских отложений показывает, что по разлому карбонатные толщи

Скалистого хребта взброшены или надвинуты на песчано-глинистые толщи средней – нижней юры с амплитудой до 6.5 км [Ольховский, Тибилов, 1998].

Нами были получены прямые данные о разломном происхождении уступа в подножии обрыва Скалистого хребта и его сейсмотектонической активности в историческое время. В долине р. Гизельдон, при ВСВ простирации разлом представлен позднеголоценовым правосторонним вбросо-сдвигом. Основная плоскость смещения имеет крутое (70–80°) падение в СЗ направлении. Величина последней одноактной подвижки – 1–1.5 м. В селении Ацонага величина предпоследней правосдвиговой подвижки – 0.9–1.1 м; последней – 0.6–0.8 м. Собранные здесь данные позволяют полагать, что за последние 600–700 лет произошло два сильных землетрясения с $M \geq 6.8$ и $M \geq 6.6$; последнее возможно в 1785 г. [Овсяченко и др., 2024].

В зоне разлома выявлены относительно короткие (длиной первые км – сотни м) левые сдвиги ЗСЗ простирации. В селении Хуссар-Хинцаг левосдвиговые одноактные смещения исторического времени в среднем составляют 30–40 см. В селении-крепости Дзивгис левый сдвиг средневековой стены-крепиды составляет 1.2 м. Возможно, смещение является результатом нескольких событий. По археосейсмологическим данным за период с VII по начало XX вв. в Дзивгисе произошло 5 сильных землетрясений; последнее в конце XIX – начале XX вв. [Корженков и др., 2023]. Средняя повторяемость землетрясений по этим данным составляет 260 лет, однако очаги всех событий не локализованы.

Рассмотренная (Северная) система разрывов имеет непосредственную пространственную и кинематическую связь с тремя другими ветвями нарушений Северо-Юрской впадины: Средней, Южной и Субмеридиональной. Одноактные смещения по Средней ветви имеют правосдвиговую кинематику со смещением на 0.4 м (селение Даллагкау, вертикальная компонента подвижки – 0.25–0.3 м). По Южной ветви величина левого сдвига стен вдоль разрыва меняется от 1.5–1.7 до 0.4–0.5 м. По всей видимости, амплитуда последней подвижки составляет 0.4–0.5 м, а величина 1.5–1.7 м – результат нескольких смещений.

Данные о возрасте, величине и кинематике подвижек представляют собой первичный материал для построения сейсмотектонической модели Северо-Юрской депрессии, как крупнейшей сейсмогенерирующей структуры. С использованием уравнения и коэффициентов для сейсмотектонической подвижки сдвиговой кинематики [Wells, Coppersmith, 1994] получены оценки магнитуды землетрясений – $M=6.5$ – 6.8 для Средней и Южной систем; для Северной – $M=6.8$ – 7.2 .

По результатам массового радиоуглеродного датирования правосдвиговых сейсмотектонических рвов и валов в Кармадонской и Даргавской котловинах, для последних 10 000 лет получены сведения о, по крайней мере, семи сейсмических событиях с $M_w=6.5$ – 7.0 [Рогожин и др., 2005; 2014]. Средний период повторяемости сильнейших землетрясений составляет примерно 1400–1500 лет, однако в середине голоцена, примерно, 6000–8000 л. н., землетрясения повторялись значительно чаще – примерно через 500 лет. Очевидно, что некоторые события были пропущены, поэтому можно принять относительно широкий интервал повторяемости сильных землетрясений с учетом археосейсмологических данных – 250–500 лет.

Продольные разрывы Даргавской и Фиагдонской котловин образуют три основных системы с разной кинематикой смещений. Это обстоятельство требует дальнейшего изучения и осмысления. С одной стороны, кинематика смещений определяется ориентировкой конкретных разрывов, т.е. их положением относительно

действующего поля напряжений. Так, в пределах Северной ветви, при СВ-ВСВ ориентировке преобладают правые сдвиги и взбросо-сдвиги, при СЗ-ЗСЗ – левые сдвиги. В то же время, при общем субширотном простирании, кинематика смещений по Средней и Южной ветвям – право- и левосдвиговая соответственно. Можно предположить, что основные деформации происходят по Средней ветви, представленной правым сдвигом, а Южная ветвь реализует локальные напряжения, компенсируя общие правосторонние смещения по всей разломной зоне. Представляется, что на решение этого вопроса может пролить свет оценка вклада каждой ветви в суммарную деформацию разновозрастных геоморфологических уровней, анализ геофизических данных о глубинном строении и сейсмологических определений глубин очагов, что остается делом будущих исследований.

Обратимся к инструментальным данным о современных тектонических деформациях. Данные о механизмах очагов землетрясений немногочисленны. Напряжения сжатия, осредненные по всей совокупности механизмов для Большого Кавказа, ориентированы в целом субмеридионально, вкрест простирания основных разломных зон [Rebetsky, 2020; Tibaldi et al., 2020]. В то же время, при рассмотрении механизмов конкретных сильных и умеренных сейсмических событий выявляется более неоднородное поле деформаций. Так, согласно решению механизма очага Джавского землетрясения с $M=6.2$, произошедшего 15.06.1991 на Южном склоне осетинского сектора Большого Кавказа, активизированный при этом короткий сегмент Кахетино-Лечхумского разлома СЗ ориентировки представляет собой левосторонний взбросо-сдвиг [Рогожин и др., 2014]. Аналогичные позднеголоценовые левые сдвиги СЗ-ЗСЗ ориентировки наблюдаются и в Северо-Юрской депрессии, что свидетельствует об общности регионального поля деформаций.

Более детальную картину дают геодезические данные по Осетинскому профилю, пересекающему все основные структуры Большого Кавказа в пределах Горной Осетии, включая и Северо-Юрскую депрессию. В пределах депрессии по этим данным выявляется доминирующая сдвиговая составляющая современных движений со скоростью до 15 мм/год [Милюков и др., 2018; Manevich et al., 2023]. Полученные по этим данным расчетные положения осей сжатия тензора скорости деформаций в пределах депрессии меняют ориентировку с СЗ (к югу) на ЗСЗ (к северу), что характеризует обстановку сжатия с горизонтальной правосдвиговой компонентой [Миронов и др., 2021].

Выводы

Собраны прямые данные о пространственном положении, кинематике и величине сеймотектонических подвижек по молодым тектоническим разрывам Даргавской и Фиагдонской котловин, имеющие принципиальное значение для построения сеймотектонической модели Северо-Юрской депрессии. Устанавливается тесная взаимосвязь древних поселений с активными разломами. Это позволяет в первом приближении оценивать возраст и величину молодых одноактных смещений в рукотворных сооружениях, которые служат надежным маркером для этих целей. Одним из наиболее важных результатов исследований можно считать установление разломной природы обрыва Скалистого хребта. В пределах Даргавской и Фиагдонской котловин продольные разрывы образуют три основных системы с разной кинематикой смещений. По данным о параметрах сеймотектонических подвижек по отдельным разрывам, в историческое время здесь происходили сильные землетря-

сения с $M=6.5-6.8$ (Средняя и Южная системы) и $M=6.8-7.2$ (Северная). Интервал повторяемости сильных землетрясений по разным данным составляет 250–500 лет. Определенная прямыми методами доминирующая правосторонняя взбросо-сдвиговая кинематика смещений для разломных систем Северо-Юрской депрессии соответствует сейсмологическим и геодезическим данным.

Литература

1. Едемский Д.Е., Прокопович И.В. Применение георадиолокации при выявлении зон разрывных нарушений. // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2024. – Т. 29. № 5. – С. 14–21.
2. Корженков А.М., Чшиев В.Т., Ларьков А.С., Овсяченко А.Н., Едемский Д.Е., Аверин А.А., Андреева Н.В. Высокая историческая сейсмичность в Северной Осетии по данным археосейсмологии (на примере поселения Дзивгис). // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2023. – Т. 50. № 2. – С. 76–110.
3. Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Едемский Д.Е., Аверин А.А., Бутанаев Ю.В., Заалишвили В.Б., Ларьков А.С., Кашицина О.Ю. Макросейсмическое изучение руин в древнем поселении Хуссар-Хинцаг (долина р. Гизельдон, Северная Осетия). // Геофизические процессы и биосфера. – 2025. – Т. 24. №. 1. – С. 74–93.
4. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. – 483 с.
5. Милуков В.К., Миронов А.П., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Дробышев В.Н., Хубаев Х.М., Николаев А.В. Скорости современных горизонтальных движений в центральном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с тектоникой и глубинным строением земной коры. // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 481. № 3. – С. 291–295.
6. Миронов А.П., Милуков В.К., Стеблов Г.М., Дробышев В.Н., Кусраев А.Г., Хубаев Х.М. Деформации земной коры в Осетинском регионе Большого Кавказа по данным ГНСС-измерений. // Геофизические процессы и биосфера. – 2021. – Т. 20. – №. 4. – С. 122–137.
7. Никитин М.Ю., Никонов А.А., Болотов С.Н., Беляков Г.А. Палеосейсмодислокации в бассейне р. Ардон и их значение для оценки сейсмического потенциала Большого Кавказа. // Доклады Академии наук. – 1993. – Т. 330. № 6. – С. 740–744.
8. Овсяченко А.Н., Едемский Д.Е., Нечаев С.Ю., Корженков А.М., Заалишвили В.Б., Ларьков А.С., Аверин А.А. Исследования очагов сильных землетрясений методами геофизики, палео-, архео- и исторической сейсмологии: Фиагдонская котловина в Северной Осетии. // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 1. – С. 65–90.
9. Ольховский Г.П., Тибилов С.М. Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии. Владикавказ: ГПП «Севосгеологоразведка», 1998. – 491 с.
10. Письменный А.Н., Горбачев С.А., Вертий С.Н. и др. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Листы К–38–IX, XV (Владикавказ). СПб: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2006. – 277 с.
11. Рогожин Е.А., Гурбанов А.Г., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Спиридонов А.В., Бурканов Е.Е. О соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на Северном Кавказе в голоцене. // Физика Земли. – 2005. – № 3. – С. 33–46.
12. 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.
13. Солоненко В.П. Палеосейсмогеология. // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1973. – № 9. – С. 3–16.
14. Свод памятников истории и культуры Осетии-Алании. Т. 2: Районы Республики Северная Осетия-Алания. / Комитет по охране и использованию объектов культурного наследия Республики Северная Осетия-Алания, Институт истории и археологии Республики

Северная Осетия-Алания. / Ред. колл. Э.Г. Агаева и др. – Владикавказ: ИПП им. В.А. Гасиева, 2021. – 544 с.

15. Тменов В.Х. Средневековые историко-архитектурные памятники Северной Осетии. Орджоникидзе: Ир, 1984. – 344 с.

16. Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. – 283 с.

17. Шевченко В.И. Тектонические дислокации на территории Осетии и механизм их формирования. // В сборнике: Складчатые деформации земной коры, их типы и механизм формирования. М.: ИФЗ АН СССР, 1962. – С. 42–77.

18. Berkut A.I., Edemsky D.E., Kopeikin V.V., Morozov P.A., Prokopovich I.V., Popov A.V. Deep penetration subsurface radar: Hardware, results, interpretation. // In: 9th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR). 2017. Edinburgh, United Kingdom. 6 p. DOI: 10.1109/IWAGPR.2017.7996052.

19. Burbank D.W., Anderson R.S. Tectonic geomorphology (2nd edition). Chichester, Wiley Blackwell, 2012. – 454 p.

20. Manevich A.I., Losev I.V., Avdonina A.M., Shevchuk R.V., Kaftan V.I., Tatarinov V.N. Modeling the horizontal velocity field of the Earth's crust in a regular grid from GNSS measurements. // Russian Journal of Earth Sciences. – 2023. – Vol. 23. – No. 6. – Art. No. ES6002.

21. McCaillin J.P. (ed.) Paleoseismology. Elsevier, 2nd edition, 2009. – 613 p.

22. Rebetsky Y.L. The current state of crustal stresses in the Caucasus according to the unified catalogue of earthquake focal mechanisms. // Geodynamics & Tectonophysics. – 2020. – Vol. 11. – No. 1. – pp. 17–29.

23. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T. et al. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. // Journal of Asian Earth Sciences. – 2020. Vol. 188. – Art. No. 104108.

24. Trifonov V.G. Active faults in Eurasia: general remarks. // Tectonophysics. – 2004. – Vol. 380. – pp. 123–130.

25. Vorobieva I.A., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Gvishiani A.D., Zaalishvili V.B., Sergeeva N.A., Nikitina I.M. Integrated Earthquake Catalog of the Ossetian Sector of the Greater Caucasus. // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 14. No. 1. – Art. No. 172.

26. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length rupture width, rupture area, and surface displacement. // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1994. – Vol. 84. No. 4. – pp. 974–1002.

References

1. Edemsky D.E., Prokopovich I.V. Application of GPR in identifying fault zones. Electromagnetic Waves and Electronic Systems. 2024. Vol. 29. No. 5. pp. 14–21. (In Russ.)

2. Korzhenkov A.M., Chshiev V.T., Larkov A.S., Ovsyuchenko A.N., Edemsky D.E., Averin A.A., Andreeva N.V. High historical seismicity in North Ossetia according to archaeoseismology data (using the example of the Dzivgis settlement). Problems of Engineering Seismology. 2023. Vol. 50. No. 2. pp. 76–110. (In Russ.)

3. Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Edemsky D.E., Averin A.A., Butanaev Yu V., Zaalishvili V.B., Larkov A.S., Kashitsyna O.Yu. Macroscopic Study of Ruins in the Ancient Settlement of Khussar-Khintsag (Gizeldon River Valley, North Ossetia). Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2025. Vol. 61. No. 7. pp. 834–852. (In Russ.)

4. Milanovsky E.E. Neotectonics of Caucasus. Moscow. Nedra. 1968. 483 p. (In Russ.)

5. Milyukov V.K., Mironov A.P., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Drobyshev V.N., Khubaev Kh M., Nikolaev A.V. Velocities of Present-Day Horizontal Movements in the Central Sector of the Greater Caucasus according to GPS Observations and Their Relation to Tectonics and the Deep Structure of the Earth's Crust. Doklady Earth Sciences. Vol. 481. No. 1. pp. 879–882. (In Russ.)

6. Mironov A.P., Milyukov V.K., Steblov G.M., Drobyshev V.N., Kusraev A.G., Khubaev Kh.M. Crustal strains in the Ossetian Region of the Greater Caucasus based on GNSS measurements. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2021. Vol. 57. No. 11. pp. 1498–1513. (In Russ.)
7. Nikitin M.Yu., Nikonov A.A., Bolotov S.N., Belyakov G.A. Paleoseismic dislocations in the river Ardon basin and their significance for assessing the seismic potential of the Greater Caucasus. *Reports of the Academy of Sciences*. 1993. Vol. 330. No. 6. pp. 740–744. (In Russ.)
8. Ovsyuchenko A.N., Edemsky D.E., Nechaev S.Yu., Korzhenkov A.M., Larkov A.S., Averin A.A. Research of sources of strong historical earthquakes using geophysical, paleo-, archeo- and historical seismology: Fiagdon Basin in North Ossetia. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 1. pp. 64–90. (In Russ.)
9. Olkhovsky G.P., Tibilov S.M. Compilation of a specialized geological basis at a scale of 1:50000 for a predictive metallogenic map of Mountain Ossetia. Vladikavkaz. “Sevosgeologorazvedka”. 1998. 491 p. (In Russ.)
10. Pismenny A.N., Gorbachev S.A., Vertiy S.N. et al. State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000. Ed. 2nd. Caucasian series. Sheets K–38–IX, XV (Vladikavkaz). Saint Petersburg. VSEGEI. 2006. 277 p. (In Russ.)
11. Rogozhin E.A., Gurbanov A.G., Marakhanov A.V., Ovsyuchenko A.N., Spiridonov A.V., Burkanov E.E. On the relationship between volcanic features and earthquakes in the northern Caucasus in the Holocene. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*. 2005. Vol. 41. No. 3. pp. 206–217. (In Russ.)
12. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Lutikov A.I., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E., Gorbatiykov A.V. Endogenous hazards of the Greater Caucasus. Moscow. IPE RAS. 2014. 256 p. (In Russ.)
13. Solonenko V.P. Paleoseismogeology. *Izvestiya Akademii Nauk USSR. Physics of the Earth*. 1973. No. 9. pp. 3–16. (In Russ.)
14. A register of historical and cultural monuments of Ossetia-Alania. Vol. 2: Districts of the Republic of North Ossetia-Alania. Committee for the Protection and Use of Cultural Heritage Sites of the RNO-Alania, Institute of History and Archaeology of the RNO-Alania. Eds. E.G. Agaeva et al. Vladikavkaz. IPP V.A. Gassiev. 2021. 544 p. (In Russ.)
15. Tmenov V.Kh. Medieval historical and architectural monuments of North Ossetia. Ordzhonikidze. Ir. 1984. 344 p. (In Russ.)
16. Florensov N.A. Essays on structural geomorphology. Moscow. Nauka. 1978. 283 p. (In Russ.)
17. Shevchenko V.I. Tectonic dislocations on the territory of Ossetia and the mechanism of their formation. In: *Folded deformations of the Earth’s crust, their types and mechanism of formation*. Moscow. IPE USSR Academy of Sciences. 1962. pp. 42–77. (In Russ.)
18. Berkut A.I., Edemsky D.E., Kopeikin V.V., Morozov P.A., Prokopovich I.V., Popov A.V. Deep penetration subsurface radar: Hardware, results, interpretation. In: *9th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR)*. 2017. Edinburgh, United Kingdom. 6 p. DOI: 10.1109/IWAGPR.2017.7996052.
19. Burbank D.W., Anderson R.S. *Tectonic geomorphology* (2nd edition). Chichester. Wiley Blackwell. 2012. 454 p.
20. Manevich A.I., Losev I.V., Avdonina A.M., Shevchuk R.V., Kaftan V.I., Tatarinov V.N. Modeling the horizontal velocity field of the Earth’s crust in a regular grid from GNSS measurements. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2023. Vol. 23. No. 6. Art. No. ES6002.
21. McCalpin J.P. (ed.) *Paleoseismology*. Elsevier. 2nd edition. 2009. 613 p.
22. Rebetsky Y.L. The current state of crustal stresses in the Caucasus according to the unified catalogue of earthquake focal mechanisms. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2020. Vol. 11. No. 1. pp. 17–29.

23. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T. et al. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2020. Vol. 188. Art. No. 104108.
24. Trifonov V.G. Active faults in Eurasia: general remarks. *Tectonophysics*. 2004. Vol. 380. pp. 123–130.
25. Vorobieva I.A., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Gvishiani A.D., Zaalishvili V.B., Sergeeva N.A., Nikitina I.M. Integrated Earthquake Catalog of the Ossetian Sector of the Greater Caucasus. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 14. No. 1. Art. No. 172.
26. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1994. Vol. 84. No. 4. pp. 974–1002.