

УДК 551.24

DOI: 10.46698/VNC.2024.50.37.005

Оригинальная статья

## Исследования очагов сильных исторических землетрясений методами геофизики, палео-, архео- и исторической сейсмологии: Фиагдонская котловина в Северной Осетии

А.Н. Овсюченко<sup>1, 2</sup>, Д.Е. Едемский<sup>3</sup>, С.Ю. Нечаев<sup>1</sup>, А.М. Корженков<sup>1</sup>,  
В.Б. Заалишвили<sup>2</sup>, А.С. Ларьков<sup>1</sup>, А.А. Аверин<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН,  
Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а;

<sup>3</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова РАН, Россия, 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4

*Статья поступила: 20.11.2023, доработана: 19.02.2024, принята к публикации: 20.02.2024*

**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 получении озвученных параметров для очаговой зоны в южном подножии Скалистого хребта. **Методы исследования:** георадарное профилирование, методы палео-, архео- и исторической сейсмологии, ориентированные 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.** В руинах заброшенного селения Ацоага обнаружены следы полного разрушения, имеющие четкие признаки сильных сейсмических воздействий с интенсивностью 9–10 баллов. Обнаружены первичные сейсмотектонические разрывы, которые образуют закономерный праводвиговый структурный ансамбль и дважды смещали древнюю дорогу на 0.9–1.1 м (предпоследнее событие) и 0.6–0.8 м (последнее событие). До этих двух последних подвижек смещения в голоцене происходили неоднократно и привели к правому сдвигу 1-ой надпойменной террасы долины р. Фиагдон на 8–11 м. Имеющиеся данные позволяют полагать, что за последние 600–700 лет произошло два сильных землетрясения с  $M \geq 6.8$ ,  $M \geq 6.6$  и положением очага в подножии Скалистого хребта. В опубликованных источниках и материалах из центральных архивов содержатся сведения о сильном землетрясении 23 февраля 1785 г. Очаг землетрясения располагался в горах Большого Кавказа, к югу от Моздока, где были зафиксированы максимальные макросейсмические эффекты – 7–8 баллов. Предположительно, данный очаг и был изучен в осетинском селении Ацоага. Исследования в соседних котловинах Северо-юрской внутригорной впадины и привлечение более широкого круга исторических источников, вполне вероятно, уточнят параметры последнего землетрясения.

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

**Благодарности:** Научная программа выполнена по Государственному заданию ГФИ ВЦ РАН и ИФЗ РАН, в рамках плановой темы Института археологии РАН «Причерноморская и Центральноазиатская периферия античного мира и кочевнические сообщества Евразии: на перекрестке культур и цивилизаций» (№ НИОКТР 122011200269-4), георадарные исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 22-12-00083.

**Для цитирования:** Овсяченко А.Н., Едемский Д.Е., Нечаев С.Ю., Корженков А.М., Заалишвили В.Б., Ларьков А.С., Аверин А.А. Исследования очагов сильных исторических землетрясений методами геофизики, палео-, архео- и исторической сейсмологии: Фиэгдонская котловина в Северной Осетии. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(1): 64–89. DOI: 10.46698/VNC.2024.50.37.005

## GEOPHYSICS

DOI: 10.46698/VNC.2024.50.37.005

Original paper

## Research of sources of strong historical earthquakes using geophysical, paleo-, archeo- and historical seismology: Fiagdon Basin in North Ossetia

A.N. Ovsyuchenko<sup>1,2</sup>, D.E. Edemsky<sup>3</sup>, S.Yu. Nechaev<sup>1</sup>,  
A.M. Korzhenkov<sup>1</sup>, V.B. Zaalishvili<sup>2</sup>, A.S. Larkov<sup>1</sup>, A.A. Averin<sup>3</sup>

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

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

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

Received: 20.11.2023, revised: 19.02.2024, accepted: 20.02.2024

**Summary:** The relevance of the paper is determined by the urgent need to develop a fundamentally new seismotectonic model of the Greater Caucasus. Its content in addition to the spatial parameters and seismic potential of zones of possible earthquake sources, should include the recurrence of earthquakes with  $M_{max}$  and the kinematics of predicted displacements in the source based on direct data. **The aim of the work** is to obtain parameters for the source zone at the southern foot of the Skalisty Range. **Research methods:** georadar profiling, methods of paleo-, archeo- and historical seismology, focused on obtaining specific parameters of the sources of paleo- and historical earthquakes. These methods make it possible to approach the problem of reconstructing a long-term seismic regime based on direct data on the age and scale of occurrence of specific seismic events over a representative time interval. **Results.** In the ruins of the site Atsonaga, the effects of complete seismic destruction were found; intensity – IX-X. Primary seismotectonic ruptures were discovered, which form a regular right-lateral strike-slip structural pattern and twice displaced the ancient road by 0.9–1.1 m (the penultimate event) and 0.6–0.8 m (the last event). Before these last two events, displacements occurred repeatedly in the Holocene and led to a dextral displacement of the 1st terrace of the Fiagdon river at 8–11 m. Available data suggest that over the past 600–700 years there have been two strong earthquakes with  $M \geq 6.8$ ,  $M \geq 6.6$  and the location of the source at the foot of the Skalisty Range. Published sources and materials from central archives contain information about a strong earthquake on February 23, 1785. The source of the earthquake was located in the Greater Caucasus Mountains, south of Mozdok, where the maximum macroseismic effects were VII-VIII were recorded. Possibly, this seismic source was studied in the Ossetian ancient village Atsonaga. Research in the neighboring basins of the North Jurassic intramountain basin and the use of a wider range of historical sources will likely clarify the parameters of the last earthquake.

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

**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 the Institute of the Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, within the framework of the planned theme of the Institute of Archeology of the Russian Academy of Sciences "The Black Sea and Central Asian periphery of the ancient world and the nomadic communities of Eurasia: at the crossroads of cultures and civilizations" (No. 122011200269-4), georadar studies were carried out at supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-12-00083.*

**For citation:** 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. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2024. 14(1): 64-89. DOI: 10.46698/VNC.2024.50.37.005

## Введение

Для долгосрочного сейсмического прогноза принципиально важен вопрос о повторяемости сильных землетрясений и надежности региональной сейсмотектонической модели, поскольку формирование сейсмических очагов всегда обусловлено конкретными тектоническими условиями. Определяющее значение имеет полнота каталогов землетрясений за представительный интервал времени.

Сейсмотектонические исследования для построения карты зон ВОЗ (возможных очагов землетрясений) на Большом Кавказе, включая Северную Осетию, проводятся давно. Первые такие исследования были выполнены уже в 1930-х гг. Л.А. Вardanяном [1935] в масштабе всего Кавказа. Специально для территории Северной Осетии последняя карта зон ВОЗ была составлена во второй половине 2000-х гг. [Рогожин, 2009; Заалишвили, Рогожин, 2010]. Протяженные системы линеаментов при этом идентифицировались с известными разломами, а эти разломы были квалифицированы в качестве активных на современном этапе. Сейсмический потенциал ( $M_{\max}$ ) для выделяемых зон ВОЗ оценивался по результатам внерегионального сейсмотектонического метода для Кавказа в целом [Рогожин и др., 2001].

Сейчас становится очевидным, что с тех пор были получены новые разнообразные результаты и разработаны методические подходы, которые позволяют приступить к созданию принципиально новой сейсмотектонической модели Большого Кавказа. Новизна заключается в содержании модели, которая, помимо пространственных параметров и сейсмического потенциала зон ВОЗ ( $M_{\max}$ ), должна содержать повторяемость землетрясений с  $M_{\max}$  и кинематику прогнозных смещений в очаге на основе прямых данных. Под прямыми данными об очагах сильных землетрясений понимаются параметры сейсмотектонического разрыва в очаге, основанные на полевых замерах и данные о сейсмических эффектах по всей совокупности источников информации, при конкретном датированном событии. Статья посвящена первым результатам исследований в этом направлении на примере Фиадонской котловины в Северной Осетии.

## Методы исследований

Согласно современным сейсмологическим представлениям и нормативным документам строительной отрасли, сейсмическая опасность определяется вероятностью достижения некоторого уровня сейсмических воздействий на данной территории в течение заданного периода повторяемости. В соответствии с методологией Общего сейсмического районирования Российской Федерации при оценке вероятности зем-

летрясений используются периоды повторяемости сотрясений в 500, 1000 и 5000 лет. При этом, очевидно, что период инструментальных сейсмологических наблюдений (50–100 лет) недостаточен для обеспечения каталогов землетрясений данными о сильнейших сейсмических событиях за такие огромные промежутки времени. В этих условиях на первую роль выходят методы палео-, архео- и исторической сейсмологии.

В настоящее время палеосейсмология представляет собой крупное научное направление с глубоко проработанными методическими приемами [Солоненко, 1973; McCalpin, 2009]. Использование геоморфологических методов в таких исследованиях привело к разработке весьма эффективного методического подхода – структурно-геоморфологического анализа [Флоренсов, 1978; Burbank, Anderson, 2012]. Условия возникновения сильных землетрясений нашли количественное выражение в виде конкретных морфологических параметров сеймотектонических разрывов – длины, величины смещений и их направленности [Wells, Coppersmith, 1994; Стром, Никонов, 1997 и др.], которые можно измерить по деформациям молодых отложений, форм рельефа и памятников археологии, а с использованием методов абсолютного датирования, археологии и исторической сейсмологии – оценить их возраст. По отношению к сейсмическому очагу такие нарушения являются первичными. Не менее важны исследования вторичных эффектов землетрясений, вызванных собственно сейсмическими сотрясениями. Все эти данные позволяют получать конкретные параметры очагов палеоземлетрясений.

Разрез молодых отложений на участках тектонических деформаций форм рельефа изучен методом георадарного профилирования, георадаром повышенной мощности «ЛОЗА-В» [Berkut et al., 2017], который применялся для решения различных задач. 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.

Выполненная аэрофотосъемка позволила построить цифровую модель рельефа, которая использована для определения морфологии и величин молодых тектонических деформаций в рельефе, а также построения георадарных профилей с учетом рельефа местности.

В целях датирования и параметризации сейсмических событий в последние 20–30 лет быстро и плодотворно развиваются методы археосейсмологии [Nikonov, 1988; Stiros, Jones, 1996; Korzhenkov, Mazor, 1999 и др.]. Изучаемые при этом деформации, по своей природе также разделяются на первичные (сеймотектонические) и вторичные (сейсмически наведенные). Наиболее показательны сеймотектонические деформации, изученные в последние годы и на Большом Кавказе [Гмыря и др., 2019; Овсяченко и др., 2020], при которых очаги сильных землетрясений достигают поверхности, разрывают и смещают строительные конструкции или культурные слои. Распознавание сейсмически наведенных повреждений архитектурных памятников наиболее достоверно при выявлении систематически направленных обруше-

ний, наклонов, изгибов, вращений и выдвинутых строительных элементов. Такие деформации, характерные для стен определенных простираний, представляют собой кинематические индикаторы для определения положения относительно очага землетрясения.

Методы исторической сейсмологии дают независимые данные о распределении и интенсивности эффектов землетрясений, часто с точной датировкой сейсмических событий [Татевосян, 2013 и др.]. Они направлены на получение и параметризацию исторических сведений об эффектах землетрясений из периодических изданий, архивов, рапортов, дневников, летописей, описаний путешествий, научных трактатов и т.д.

Эти методы позволяют подойти к проблемам реконструкции долговременного сейсмического режима и разработки сеймотектонической модели на основе прямых данных о возрасте и масштабах проявления конкретных сейсмических событий за представительный интервал времени.

### Результаты исследований

Фиагдонская котловина расположена в пределах субширотной цепочки других подобных котловин, объединяющихся в протяженную внутригорную впадину, получившую среди геологов название Северо-юрская депрессия. Эта впадина имеет ярко выраженную северную границу с моноклиалью Северного крыла, представленную грандиозным обрывом Скалистого хребта, в котором обнажены позднеюрско-меловые массивные известняки и доломиты. Вдоль подножия обрыва сплошной полосой протягивается мощный шлейф коллювиально-пролювиально-оползневых накоплений, повсеместно скрывающих зону разлома Скалистого хребта. По разлому карбонатные толщи Скалистого хребта взброшены или надвинуты с амплитудой до 6.5 км на песчано-глинистые толщи средней – нижней юры, а кое-где – магматогенно-метаморфические образования кристаллического фундамента [Ольховский, Тибилев, 1998].

Характер голоценовых тектонических деформаций отражает положение позднеплейстоценовых ледниковых образований. По долинам рек Фиагдон, Гизельдон и Геналдон у подножия Скалистого хребта позднеплейстоценовые морены слагают днища трогов и погребены толщами аллювиальных осадков мощностью в десятки – сотни метров, что свидетельствует об относительном опускании впадины в голоцене [Письменный и др., 2006]. В осевой части впадины трассируется зона регионального Пуйского разлома, представленного на территории Северной Осетии несколькими сегментами (Нузальский, Дзуарикауский, Даллагкау-Даргавский и др.).

Северо-юрская депрессия представляет собой обращенную морфоструктуру. Тектоническое строение депрессии подчеркивается системой грабенов, изученных в долинах рек Ардон и Фиагдон [Шевченко, 1985], наложенных на серию крупных антиклинальных складок в юрских отложениях [Ольховский, Тибилев, 1998]. Грабены секут раннеальпийские складки в юрских отложениях и имеют форму сходящихся вниз клиньев шириной в несколько километров, что, вероятнее всего, обусловлено сдвиговым полем деформаций.

Молодые сейсмогенные нарушения ранее были выявлены по материалам аэрофотосъемки и аэровизуальных наблюдений в долине р. Ардон, под названием Садоно-Унальской системы сейсморазрывов субширотной ориентировки, увязанной с Нузальским (Пуйским) разломом [Никитин и др., 1993]. Позже система сеймотектонических разрывов детально изучалась в основном в Кармадонской котловине

[Рогожин и др., 2014]. Она представлена системой открытых трещин растяжения, выраженных в рельефе линейными ложбинами, и сопряженных с ними структур сжатия – валов сжатия. Система разрывов укладывается в правосдвиговый структурный ансамбль. Кроме первичных нарушений, в качестве вторичных сейсмогенных образований были квалифицированы обвалы, оползни, каменные лавины и образуемые ими подпрудные озера в долинах рек.

#### *Арчео- и палеосейсмологические исследования*

Следы сильных сейсмических повреждений в Фиагдонской котловине были исследованы в с. Дзивгис [Корженков и др., 2023], Даллагкау, Цымыти (Чшиев и др., в печати; Корженков и др., в печати), Гули и Ацонага (рис. 1).

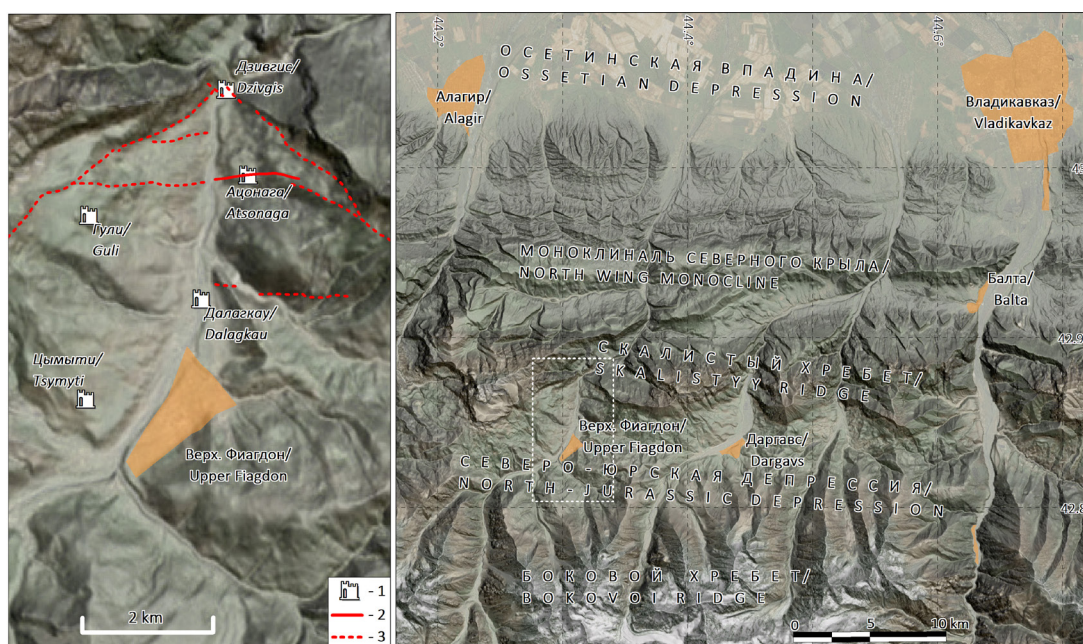


Рис. 1. Основные морфоструктуры и положение изученного района (выделен квадратом).  
1 – изученные древние поселения со следами землетрясений; 2 – сейсмоструктурные разрывы, изученные в молодых отложениях, формах рельефа и архитектурных памятниках древности;  
3 – сейсмоструктурные разрывы, предполагаемые по структурно-геоморфологическим дистанционным данным /

Fig. 1. The main morphostructures and position of the studied area (square).  
1 – studied ancient settlements with traces of earthquakes; 2 – seismic ruptures studied in young sediments, landforms and architectural monuments of ancientry;  
3 – seismic ruptures inferred from structural-geomorphological remote sensing data

В руинах заброшенного селения Ацонага наблюдаются следы полного разрушения. Разрушенными оказались очень прочные строения из разноразмерных известняковых блоков на известковом цементе, имеющие сейсмические пояса и другие антисейсмические конструктивные особенности. Блоки грубо отесаны, но тщательно подогнаны друг к другу. Исследовавший в 1977 г. памятники историко-архитектурного наследия этого района В.Х. Тменов [1984, с. 105], в центре заброшенного и разрушенного к тому времени селения, замерил и описал руины боевой башни и ганаха (дома-крепости) Хадарцевых. Южная часть башни полностью обрушена. В 7 м к западу от башни расположен ганах Хадарцевых, сохранившийся на высоту двух ярусов. Ганах доминирует над центральным комплексом жилых и хозяйственных сооружений, огражденных внешней стеной, сохранившейся на высоту до 2.5 м. К

востоку от башни расположено несколько домов с хозяйственными сооружениями, огороженными внешними стенами.

Северная и южная стены ганаха, ориентированные в субширотном направлении ( $275\text{--}280^\circ$ ) сохранились на высоту до 6 м, тогда как стены субмеридиональной ориентировки почти полностью разрушены. Южная стена изогнута внутрь помещения, испытав выпячивание до 40 см в северном направлении. Центральная, наиболее вогнутая часть стены в результате оказалась наклонена на север под углом  $10^\circ$  (рис. 2а). Аналогичный изгиб внутрь помещения, только уже в южном направлении, испытала противоположная, северная стена ганаха (рис. 2б).



Рис. 2. Деформации стен субширотной ориентировки.

*a, b – южная (a) и северная (b) стены ганаха с прилегающей с запада внешней стеной (b), т. 1, 2.  
c – стена на западной окраине центрального комплекса сооружений, т. 3 /*

*Fig. 2. Deformations of sublatitudinal walls.*

*a, b – southern (a) and northern (b) walls of the ganakh with the external wall (b) adjacent to the west, p. 1, 2. c – wall on the western outskirts of the central complex of buildings, p. 3*

Расположенная к западу от ганаха внешняя стена центрального комплекса сооружений испытала изгиб наружу, в северном направлении на 40–50 см (рис. 2b). В месте максимального изгиба стена полностью разрушена – блоки вывалились на север, отлетев на расстояние до 3 м.

Еще одна субширотная стена с общим простиранием  $275^\circ$ , расположенная на западной окраине центрального комплекса сооружений, испытала S-образную (в плане) деформацию (рис. 2c). Ее западная часть выгнулась на север до 20 см, а южная – на 20 см на юг. Такую деформацию получили верхние ряды кладки, в результате чего выгнутые в разные стороны фрагменты стены оказались разорваны на 20 см и испытали наклон в разные стороны на  $10\text{--}15^\circ$ . Нижний ряд кладки остался почти прямолинейным. Восточный стык с соседней стеной в верхних рядах кладки оказался оторван от своего первоначального положения и смещен в южном направлении на 20 см. Максимальное суммарное сейсмическое воздействие в данном случае было направлено перпендикулярно простиранию стены.

Стены субмеридиональной ориентировки также получили сильные повреждения в виде наклонов с обрушением верхних рядов кладки. Выше было упомянуто почти полное разрушение субмеридиональных стен ганаха. При этом восточная стена в стыковочной части с соседней стеной получила наклон до  $8^\circ$  в вертикальной плоскости на запад (рис. 3a). Противоположная, западная стена также испытала наклон с обрушением внутрь помещения. Наклон до  $10^\circ$  на восток получили нижние ряды стен, сохранившиеся на высоту до 1.5 м на западной (рис. 3b) и юго-западной (рис. 3c) окраинах центрального комплекса. Верхние ряды обрушились в том же (восточном) направлении.







Рис. 3. Деформации стен субмеридиональной ориентировки: а – восточная стена ганах, вид на юг, т. 4. б – стена на западной окраине центрального комплекса сооружений, вид на юг, т. 5. с – стена на юго-западной окраине центрального комплекса сооружений, вид на север, т. 6 /  
 Fig. 3. Deformations of walls of submeridional orientation: a – eastern wall of the ganakh, view to the south, p. 4. b – wall on the western edge of the central complex of buildings, view to the south, p. 5. c – wall on the southwestern outskirts of the central complex of buildings, view to the north, p. 6

Стены СВ ориентировки получили выпуклые (в плане) изгибы. В результате они приобрели дугообразную форму с выпячиванием на 20–40 см, ориентированным как в СЗ (рис. 4а), так и в ЮВ (рис. 4б) направлениях.

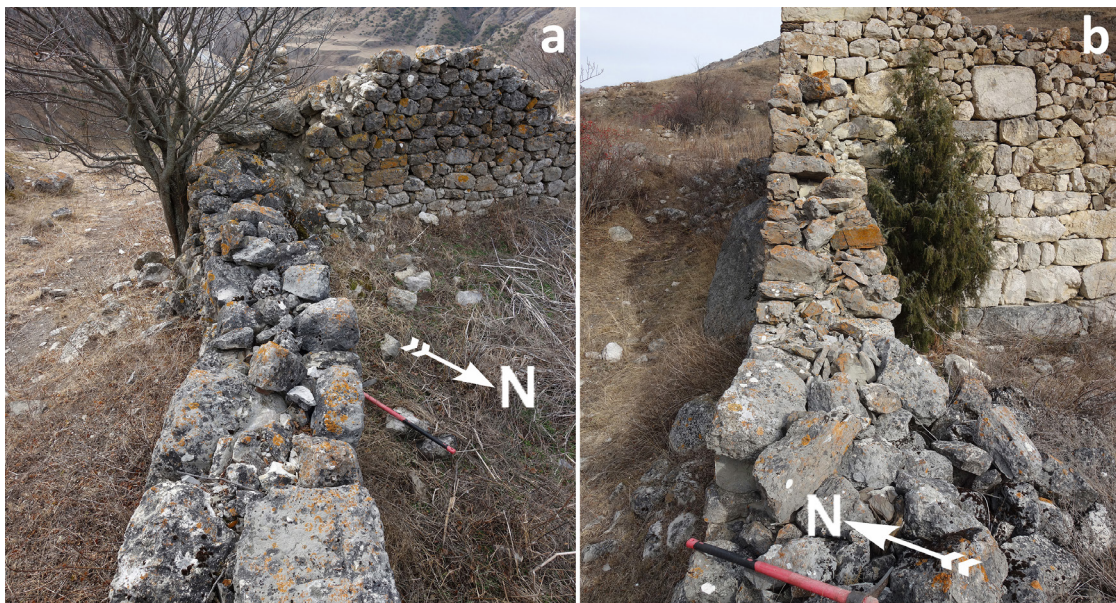


Рис. 4. Деформации стен СВ ориентировки: а – внешняя стена дома в восточной части селения, т. 7., б – внешняя стена дома в восточной части селения, т. 8 /  
 Fig. 4. Deformations of walls of NE orientation: a – external wall of a house in the eastern part of the village, p. 7., b – external wall of a house in the eastern part of the village, p. 8

Стены ЗСЗ ориентировки повреждены правосдвиговыми разрывами субширотной ориентировки, получили наклон и обрушились в СВ направлении. Так, внешняя стена центрального комплекса сооружений ЗСЗ ориентировки (295–300°), сохранившаяся на высоту до 1, испытала общий наклон на 6–7° с обрушением в СВ направлении. В двух местах она оказалась разорвана на всю видимую высоту (рис. 5b). Разрывы имеют субширотное простирание и правосдвиговую кинематику смещений на 10–20 см. Южный фас стены на этих участках обрушился. Аналогичные деформации наблюдаются в 30 м к СВ от башни, в стене ЗСЗ ориентировки (305–310°) (рис. 5a).



Рис. 5. Деформации стен ЗСЗ ориентировки.  
*a* – внешняя стена дома в СВ части селения, т. 9. Штриховыми линиями показаны смещенные фасы стен в бортах правосдвиговых разрывов,  
*b* – внешняя стена центрального комплекса сооружений, т. 4 /

Fig. 5. Deformations of walls of WNW orientation.  
*a* – the outer wall of the house in the north-eastern part of the village, p. 9.  
 The dashed lines show the displaced faces of the walls on the sides of right-shear faults,  
*b* – the outer wall of the central complex of structures, p. 4

Руины селения имеют систематические деформации, характерные для стен определенной ориентировки – наклоны с направленными обрушениями, S-образные и выпуклые изгибы, а также сдвиговые разрывы на всю высоту стен. Трудно себе представить, что стены так были построены изначально. Четкий набор признаков показывает, что они деформировались в результате сильного землетрясения с интенсивностью 9–10 баллов.

По отношению к очагу почти все эти деформации, возможно за исключением правых сдвигов в стенах ЗСЗ ориентировки, являются вторичными. Однако, здесь обнаружены и первичные деформации. Они представлены правыми сдвигами субширотного (ЗСЗ) простирания в древней дороге, которая серпантинами вела в Ацонагу. Суммарное смещение подпорных стен древней дороги в т. 10 разделяется на две стадии (рис. 6a). В результате предпоследней подвижки произошло смещение – 0.9–1.1 м. После этого стена была отремонтирована. Последняя подвижка на

0.6–0.8 м произошла в 1 м южнее. Она привела к смещению глыбы в нижней подпорной стене и межблоковому смещению со свежим, слабо задернованным уступом в верхней. После этой подвижки верхняя часть дороги пришла в негодность, была заброшена, а на ней возведена сельскохозяйственная терраса (между т. 10-11, рис. 7). Позже террасы были заброшены, и поверх них проложена современная дорога.

Смещение насыпи древней дороги в т. 11 – 0.6–0.8 м (рис. 6b). Более древняя скальная ниша здесь же смещена примерно на 1.5–2 м. Такая разница в величине смещения также может свидетельствовать о двух разновозрастных подвижках, произошедших в течение относительно короткого интервала времени. До этих двух последних подвижек смещения в голоцене происходили неоднократно. В противоположном, левом борту долины р. Фиагдон тыловой шов 1-ой надпойменной террасы смещен в горизонтальной плоскости на 8–11 м (рис. 6b).



Рис. 6. Правосдвиговое смещение древней дороги в Ацонагу в т. 10 (а) и в т. 11 (б) /  
Fig. 6. Dextral offset of the ancient road to Atsonaga at point 10 (a) and at point 11 (b)

### *Геофизические исследования*

Георадарные исследования выполнены по профилям, проложенным вкрест простирания предполагаемых линий разломов с шагом по профилю 0.2–0.5 м (рис. 7). При интерпретации георадарных данных в первую очередь внимание уделено особенностям волновой картины отраженного сигнала, а именно – конфигурации осей синфазности отраженных волн; интенсивности осей синфазности (амплитуде отражений); протяженности осей синфазности и их непрерывности. Критериями наличия тектонических разрывов и смещений на георадарном профиле являются: нарушения геометрии слоистости отложений; разрывы осей синфазности (маркирующих горизонтов) с их смещением или изменением угла наклона по линии разрыва; изменение текстуры волновой картины отражений вдоль профиля по линии разрыва. При интерпретации учтены нарушения, смещающие несколько слоев разреза, что исключает влияние на волновую картину наклонных и вертикальных литологических разностей.

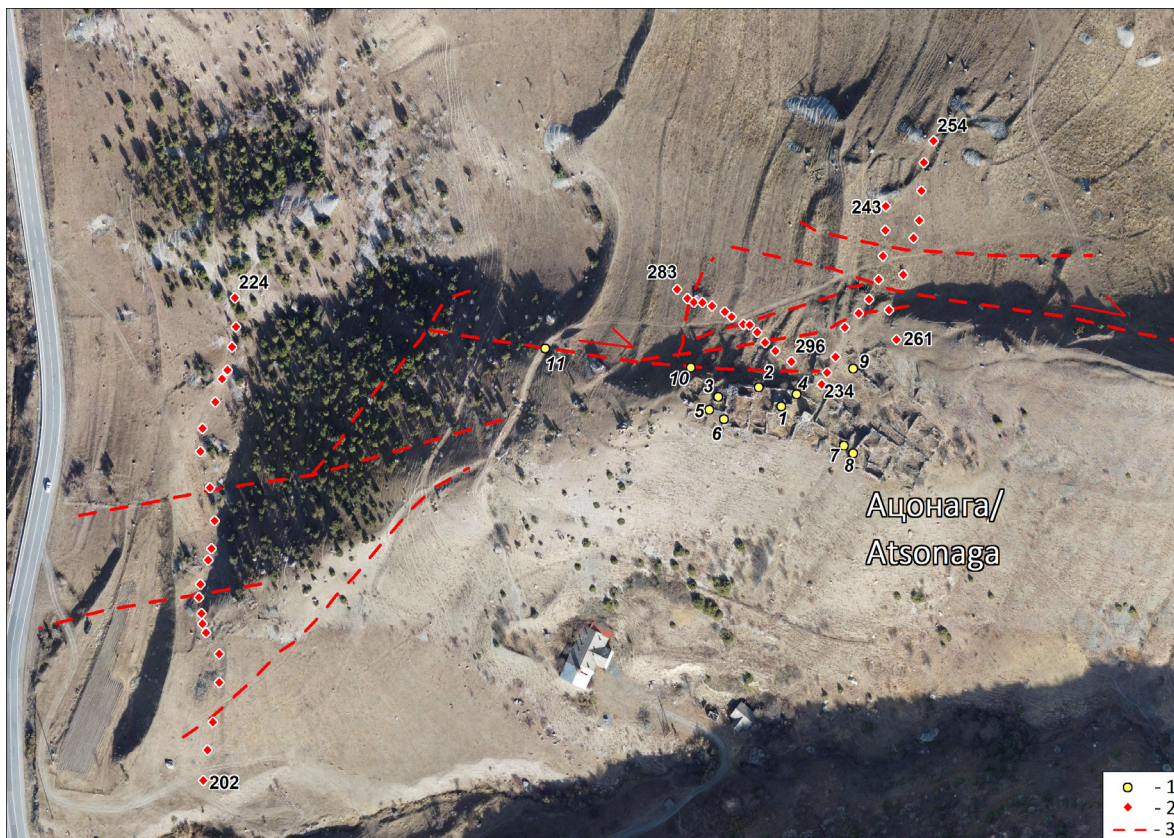


Рис. 7. Аэрофотоплан района с. Ацонага.

1 – точки, упомянутые в тексте; 2 – точки вдоль георадарных профилей;  
3 – сеймотектонические разрывы /

Fig. 7. Aerial photo plan of the Atsonaga area.

1 – points mentioned in the text;  
2 – points along georadar profiles; 3 – seismic ruptures

В строении разреза принимают участие сильно деформированные раннесреднеюрские глинистые сланцы с линзами, пластами и пачками алевролитов, реже песчаников, грубообломочные обвальные отложения, сложенные глыбами и крошкой известняков толщиной до 15 м, чехол покровных лессовидных суглинков. На полученных георадарных разрезах отложения характеризуются отсутствием многослойной субгоризонтальной структуры с радиоконтрастными границами между слоями и отсутствием маркирующих слоев, по которым можно оценивать тектонические смещения. Известняковые грубообломочные отложения и перекрывающие их суглинки – относительно мягкий материал, который в результате тектонических смещений чаще всего не формирует четко очерченных разрывов. Последние на георадарных разрезах представляют собой некую зону разрушения.

Георадарные профили 254–261 и 243–234 проложены вдоль пологого уступа на северном склоне гряды, на которой расположены развалины поселения Ацонага (рис. 8). Профили расположены параллельно друг другу и разнесены между собой не менее чем на 10 м.

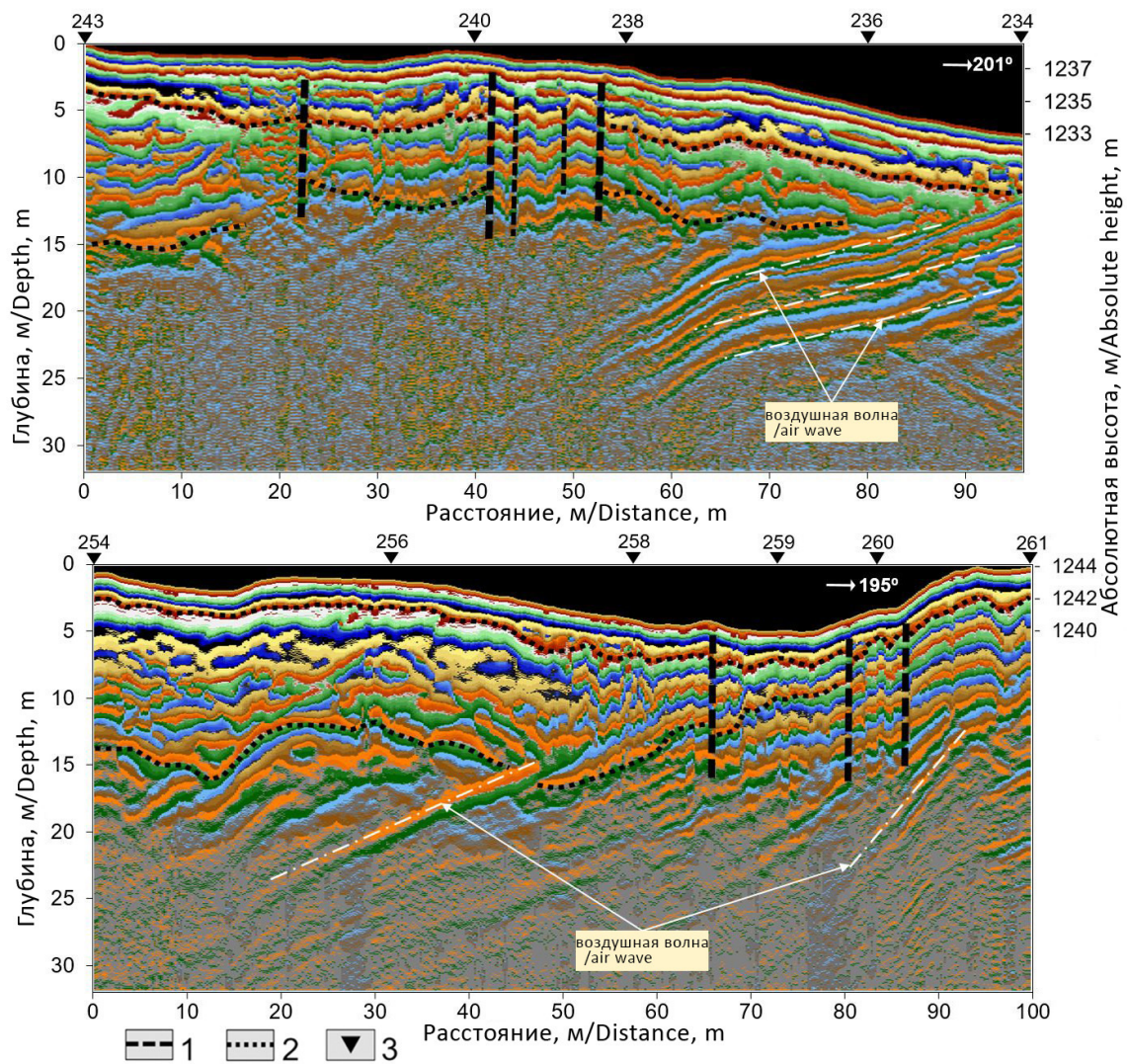


Рис. 8. Георадарные профили 254–261 и 243–234.

1 – тектонические разрывы; 2 – маркирующие горизонты; 3 – пикеты георадарных профилей /  
Fig. 8. Georadar profiles 254–261 and 243–234.

1 – tectonic faults; 2 – marking horizons; 3 – pickets of georadar profiles

Георадарный профиль 254–261 длиной 100 м пройден с шагом 0.25 м. В начале профиля на отрезке 0–50 м на радарограмме наблюдается отсутствие регулярной субгоризонтальной структуры отражений и наличие локальных неоднородностей, что может говорить о наличии чехла рыхлых отложений с примесью грубообломочного материала. На отрезке 50–100 м георадарного профиля характер отражений иной и имеет регулярную субгоризонтальную структуру отражений, нарушенную разрывами с вертикальными смещениями (65 м, 80 м, 87 м профиля). Разрывы выражены в рельефе уступами, образующими ступенчатую структуру на краю профиля (70–100 м). По всей видимости, понижение на склоне имеет тектоническое происхождение с выходом линии разлома на поверхность и формированием в верхней части структуры проседания – грабена (80–87 м), ограниченного разрывами сбросового типа.

На профиле 243–234 (отрезок 0–18 м, рис. 8) наблюдается аналогичная профилю 254–261 текстура волновых отражений с отсутствием регулярной структуры и наличием локальных неоднородностей. На отметке 20 м на глубину чехла рыхлых отложений наблюдается зона локальных нарушений маркирующих границ (осей синфазности). Характер нарушений, текстура отражений, существенно отличается от текстуры волновых отражений вдоль всего профиля. Данное локальное нарушение с изменением текстуры отражений на узком участке профиля (шириной 2–3 м), с большой долей вероятности, можно объяснить тектоническим смещением. Начиная с 20 м и до 96 м профиля наблюдается относительно регулярная субгоризонтальная структура отражений, которая на участке 40–55 м нарушена серией разрывов осей синфазности по всей толще разреза, которые мы интерпретируем как линии тектонических разрывов. Этот вывод основан на смещении и/или изменении угла наклона осей синфазности по линиям разрыва и изменении текстуры волновой формы отражений в зоне нарушений, ограниченной линиями разрывов (40 и 55 м). На отрезке 60–96 м профиля наблюдаются сильные воздушные помехи от развалин построек поселения Ацонага, что затрудняет анализ георадарного разреза на данном участке.

Георадарный профиль 296–284 проложен ниже, на террасированном склоне уступа в сторону речной долины (рис. 9). Верхняя часть георадарного профиля представляет собой чехол рыхлых склоновых отложений мощностью 5–10 м. Анализ волновой картины показал наличие серии разрывов на отметках 15 м и 30 м, падающих практически вертикально в западном направлении. Разрывы проникают в чехол молодых отложений, предположительно являются разновозрастными и образовались при разных импульсных подвижках. Максимальное смещение чехла рыхлых отложений отмечается вдоль надвига в нижней части разреза. Слои в его висячем крыле образуют антиклинальную складку – структуру принадвигового сжатия, нарушенную сбросами.

Ниже на ~ 100 м по склону относительно развалин поселения Ацонага, на надпойменной террасе вдоль реки, проложен георадарный профиль 224–202 длиной 285 м (рис. 9). В целом на георадарном профиле наблюдается относительно регулярная субгоризонтальная структура отражений, которая на отметках 100, 185 и 260 м нарушена серией разрывов, а в районе 260 м – резким изменением текстуры волновой картины отражений.

По всей видимости, данные нарушения имеют тектоническое происхождение с выходом линии разлома на поверхность. Так в районе 185 м наблюдаются нарушения с формированием в верхней части структуры проседания – грабена, ограниченного разрывами сбросового типа. У отметки 100 м линии разрыва в целом образуют структуру «цветка», характерную для присдвиговых зон растяжения. Первые 50 м профиля проложены по крутому склону, и на георадарном профиле в районе 25 м наблюдаются следы оползневой системы с формированием контрастных плоскостей скольжения.

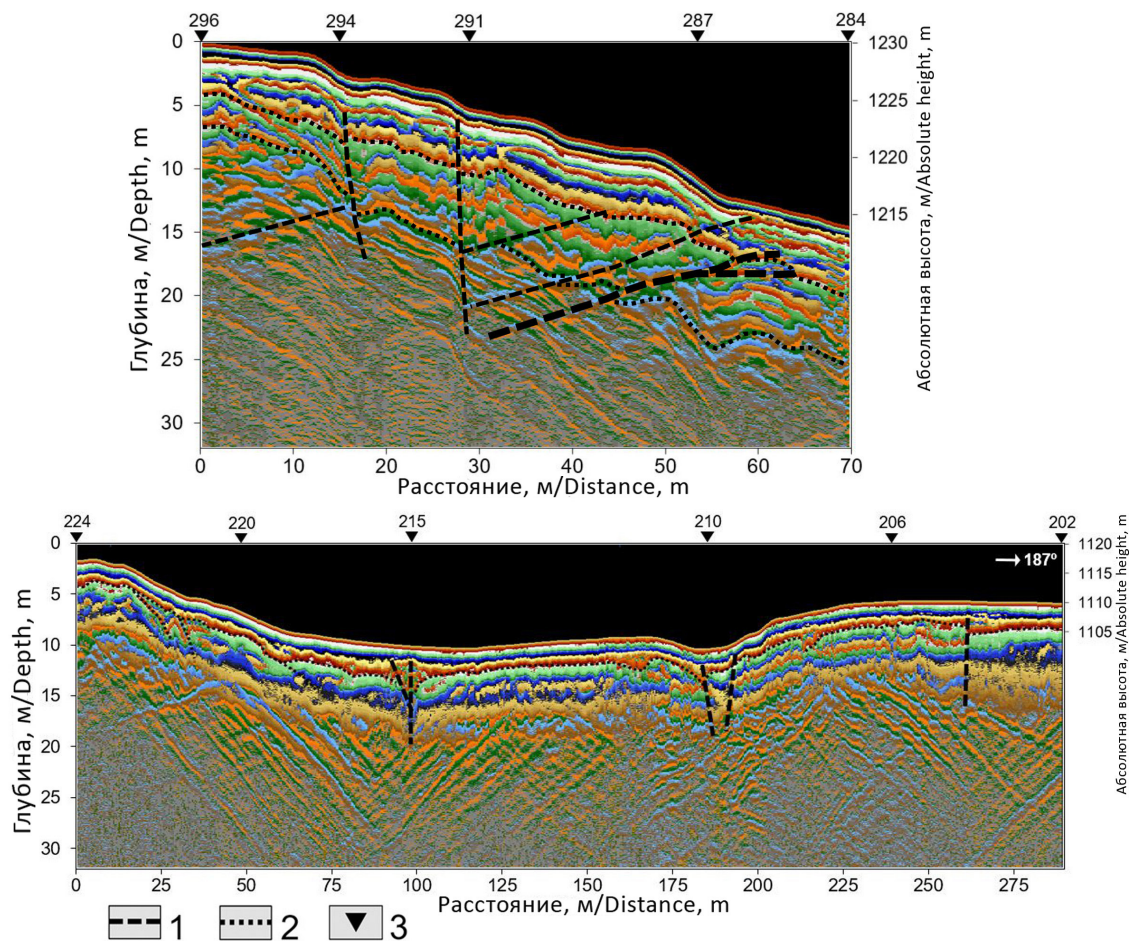


Рис. 9. Георадарные профили 296–284 и 202–224.

1 – тектонические разрывы, жирной линией показан сместитель основного надвига;

2 – маркирующие горизонты; 3 – пикеты георадарных профилей /

Fig. 9. Georadar profiles 296–284 and 202–224.

1 – tectonic faults; 2 – marking horizons; 3 – pickets of georadar profiles

В целом, собранные данные позволяют составить непротиворечивое представление о плановом структурном рисунке молодых тектонических разрывов. Они образуют эшелонированную систему сбросов и мелких грабенов в разрезе, а в плане имеют доминирующую горизонтальную компоненту – правый сдвиг. С ними сопряжены более короткие структуры сжатия. Такая структура была изучена на профиле 296–284. В целом разрывы разных типов образуют закономерный правосдвиговый структурный ансамбль кулисообразного чередования сдвиго-сбросов ЗСЗ ориентировки – структур растяжения с правым сдвигом, и поперечных по отношению к ним надвигов – структур сжатия.

#### Историко-сейсмологические исследования и археологические данные

Можно полагать, что селение Ацонага было оставлено жителями в результате полного разрушения (9–10 баллов) в очаге последнего сильного землетрясения. Когда произошло это землетрясение? Согласно базовому каталогу в Северо-юрской депрессии и окрестностях (междуречье Терек – Ардон) сильнейшим было Дарьяльское землетрясение 14.01.1915 г. ( $M = 5.4$ ,  $I_0 = 7$  баллов в долине р. Терек,

$h = 19$  км) с афтершоком 21.01.1915 г. ( $M = 5.2$ ,  $I_0 = 6$  баллов в долине р. Терек,  $h = 30$  км) [Новый..., 1977]. Помимо него имел место ряд более слабых событий: 13.03.1854 ( $M = 4.4$ ,  $I_0 =$  до 6 баллов в долине р. Ардон,  $h = 15$  км); 3.07.1902 ( $M = 4.7$ ,  $I_0 = 7$  баллов в верховьях долины р. Фиагдон,  $h = 10$  км); 18.10.1903 г. ( $M = 4.4$ ,  $I_0 = 5$  баллов,  $h = 20$  км); 6.04.1932 г. ( $M = 4.7$ ,  $I_0 = 6$  баллов в долине р. Терек,  $h = 20$  км) [Новый..., 1977]. Можно полагать, что для XX в. землетрясения параметризованы относительно надежно, а сильных сейсмических событий в Ацонаге не возникало.

Вызывает вопросы надежность определения параметров землетрясения 13.03.1854 г. В каталоге [Мушкетов, Орлов, 1893] записано: «*В том же [1854] году 1-го (13) марта, в 9 ч. 45 мин. утра, довольно сильное землетрясение в Садонском ущелье ( $42^{\circ}52'$  с.ш. и  $41^{\circ}4'$  в.д.), шедшее с NO на SW*». Ссылка дается на франкоязычный каталог А. Перрея с идентичным текстом и указанием в скобках (M. Moritz) [Perrey, 1866, p. 16]. Имеется в виду (месяе) А.Ф. Мориц – директор Тифлисской физической обсерватории, данные наблюдений которой пересылались в Петербург и помещались в ежегодниках Главной физической обсерватории, хотя таковые сведения за 1854 г. в искомом ежегоднике не обнаружены [Свод наблюдений..., 1856]. Дополнительно обследованы региональные газеты 1854 г.: «Ставропольские губернские ведомости», тифлисские «Закавказский вестник» и «Кавказ», но также безрезультатно. Вполне вероятно, что в каталоге А. Перрея допущена ошибка в датировке события, перекочевавшая в современные каталоги. Следовательно, для рассматриваемого района отсутствуют сведения о сильных сейсмических событиях и в XIX в.

Обратимся к имеющимся историко-археологическим материалам. Исследовавший в 1977 г. памятники историко-архитектурного наследия этого района В.Х. Тменов [1984, с. 105] отметил, что селение Ацонага покинуто жителями, а почти все строения разрушены. В описании котловины в районе с. Даллагкау графиней П.С. Уваровой, отмечено «...Аул Даллагкау, в Куртатии, на реке Фиагдон, расположен на нескольких холмах и низинах, связанных между собою общими воспоминаниями... Местность левее, там, где расположен дом владельца Черехова, называется Фардыгдон; поселок внизу – Ацонага; на берегу реки – поселок Даллагкау; выше, за рекой – холм Таузит с баинями, огромными колумбариями и могильником; еще дальше аул Гули; и над всею местностью – высокий, великолепный по своим размерам и цветам известковый кряж Кариу...» [Уварова, 1900, с. 60]. Селение Ацонага, наряду с селами Барзикау, Дзуарикау, Даллаг Карца, Джизи, Фардыгдон, Гусыра, Дзивгис и Гули, перечислено в составе Куртатинской общины с центром в с. Даллагкау при аналитическом рассмотрении архивных документов 1820–1860-х гг. [Бзаров, 1988]. При этом Хадарцевы, основатели Ацонаги, упоминаются в числе переселенцев на равнину в первой половине XIX в. Согласно «Описи осетинских и ингушских сел с указанием количества дворов и числа лиц, принявших от Осетинской комиссии христианство» от 1780 г. (<https://www.vostlit.info/>), в Ацонаге зафиксировано: число деревень – 3; в каждой деревне дворов – 10; в каждой деревне крещеных – 23. По «Списку населенных мест Терской области: По сведениям к 1 января 1883 г.» (<https://www.prlib.ru/>), в Ацонаге было: 9 дворов; 61 мужчина; 58 женщин.

Описания слабо совпадают с условиями изученного нами поселения. В первую очередь возникает противоречие с положением Ацонаги «внизу» относительно



с. Даллагкау в описании П.С. Уваровой. Изученные руины расположены примерно на 100 м выше Даллагкау. Не совпадает также и описание по сведениям к 1 января 1883 г. – нами изучено компактное владельческое поселение феодального типа с 3-мя тесными кварталами и 5–6-ю дворами, тогда как в описании указано 9 дворов. В описи 1780 г. фигурируют 3 деревни с 10-ю дворами в каждой. В настоящее время ниже старой Ацонаги (к югу), на выровненной бульдозером площадке, расположено два здания. По всей видимости, здесь была расположена одна из трех деревень, указанных в описи 1780 г. Можно полагать, что в конце XIX в. изученное нами верхнее поселение было уже заброшено, а фигурирующая в описаниях того времени Ацонага была расположена в другом месте, ниже старой Ацонаги. Окончательно жители Ацонаги переселились на равнину в первые годы советской власти (1920-е гг.) [Цагаева, 2010].

Для выяснения возраста старой Ацонаги можно привлечь лишь косвенные археологические сведения. Наиболее ранние археологические памятники Куртатинского ущелья датируются VI–VIII вв. [Уварова, 1900, с. 60]. Этот временной интервал был уточнен VII–VIII вв., как период формирования Куртатинской и др. общин в результате переселения аланов с равнины на фоне арабо-хазарских войн [Кузнецов, 2016]. Второй хронологический период бытования древностей ущелья наиболее широко датируется XI–XIX вв. [Кузнецов, 2014]. Масштабное строительство начинается в монгольскую эпоху (XIII–XV вв.), в связи с новым массовым притоком аланского населения, теснимого завоевателями на равнине. Период строительства боевых башен Куртатинской общины датируется XVI–XVII вв. [Тменов, 1984; Сланов, 2004].

В целом, имеющиеся археологические данные не дают материала для получения более-менее определенной даты землетрясения даже на уровне столетия. За период с VII по XVIII–XIX вв. в Дзивгисе, расположенном в 1.2 км к северу от Ацонаги, произошло не менее четырех сильных землетрясений, последнее – в XVIII–XIX вв. [Корженков и др., 2023]. Историко-археологические данные можно использовать для определения широких интервалов повторяемости землетрясений. К раннему периоду (VI–VIII вв.) относятся склепы, тогда как жилые сооружения в центре Куртатинской общины, селении Даллагкау, датируются начиная с XIV вв. [Тменов, 1984; Сланов, 2004; Кузнецов, 2014].

Рассмотрим имеющиеся каталоги землетрясений, опубликованные источники и материалы из центральных архивов. В каталоге землетрясений Северной Евразии [СКЗ ОСР-2012] имеется землетрясение 15.01.1769 г. с  $M_s=5.6$ , эпицентр которого помещен в 17–20 км к северу от Фиагдонской котловины, в зоне Владикавказского разлома. Землетрясение могло быть восстановлено только по письменным источникам, однако в каталоге ссылки на источники отсутствуют. Событие не представлено и в базовых каталогах [Новый..., 1977; Shebalin, Leydecker, 1997]. Более того, оно не обнаружено и в результате недавнего специализированного изучения газеты «Санкт-Петербургские ведомости» за 1728–1800 гг. [Никонов, 2017; Никонов, 2020], в которой публиковались сведения о значительных землетрясениях.

До второй половины XVIII в. сведения о землетрясениях Восточного и Центрального Кавказа поступали из Кизляра и казачьих станиц на Тереке. Из этого периода имеется сообщение о сильном землетрясении 1767 г., описание которого помещено в газете «Санкт-Петербургские ведомости» (1767. № 20): «Из Астрахани, от 13 февраля. В присланных от кизлярского коменданта господина генерал-

майора Потапова репортаж описывается происшедшее генваря с 20 на 21 число ночью, в 12 часу, землетрясение в Кизлярской крепости и в форшта[д]те, также при реках Каргине и Борозде в расположенных форпостах и в семейных казачьих городках. Помянутый господин генерал-майор в то время не спал, как началось сперва умеренное движение земли, от которого в покоях столы и стулья пошатывались, что продолжалось секунд с 50; потом воспоследовало колебание так, что дома тряслися, находившиеся в крепости часовые на ногах стоять не могли, а спящие жители падали с кроватей, однако оное чрез 20 секунд миновалось и больше вреда не причинило». Сообщение из газеты впервые прокомментировано в работе [Никонов, 2017]. Данная публикация предоставляет более содержательный исходный материал и показывает, что приведенная в каталоге [Мушкетов, Орлов, 1893] дата «12 февраля» является ошибочной – дважды переведенной в новый стиль датировкой события, поскольку его составители ссылаются на источники на французском языке, в которых календарный стиль уже переводился. Это землетрясение в Кизляре внесено в базовый каталог [Новый..., 1977] с ошибочной датой «12 февраля» вместо 31.01.1767 г. (по новому стилю, учитывая местное время), а сила главного толчка оценена в 7 ( $\pm 1$ ) баллов. А.А. Никонов [2017] на основе первичных данных повысил значение интенсивности до 7–8 ( $\pm 0.5$ ) баллов.

Спустя десятилетие следующие землетрясения были зарегистрированы по сообщениям из станиц гребенских казаков – современных сельских поселений Шелковского района Чеченской Республики. Их описание также помещено в газете «Санкт-Петербургские ведомости» (1778. № 7): «В Санкт-Петербурге, генваря 23-го дня. От астраханского господина губернатора и кавалера Ивана Варфоломеевича Якобия получено здесь известие, что в Кизлярском краю Гребенского войска было землетрясение, а именно: в Новогладковской и Старогладковской станицах, расстоянием в 10-ти верстах, минувшего ноября 30, а в Черленской [Червленной] станице и на Лютенской заставе – декабря 1 дня [1777 г.]. Оно начиналось в 4-м часу пополуночи сперва тихим колебанием, потом три раза весьма сильно действовало и продолжалось близ четверти часа; однако нигде, никому и никакого вреда не причинило». Сообщение впервые прокомментировано в работе [Никонов, 2017], в которой интенсивность землетрясений оценена в 4–5 ( $\pm 0.5$ ) баллов и отмечено, что события 11.12 и 12.12.1777 г. (по новому стилю) отсутствуют во всех сейсмических каталогах.

В 1763 г. начинается возведение крепости Моздок, из которой стали поступать сведения в центральные учреждения. Одно из таких описаний помещено в газете «Санкт-Петербургские ведомости» (1785. № 27): «В Санкт-Петербурге, апреля 4-го дня. В письмах из Астрахани уведомляют, что сего 1785 года февраля 12 дня было в Моздоке землетрясение, которое происходило таким образом: Оно началось пополуночи в 22-й минуте второго часа от южной стороны, то есть от Кавказских гор, из-за реки Терека, с подземным стуком, наподобие грому, в великой отдаленности происходящего; трясение было сильное в целом Моздоке и в окружности оно и продолжалось минуты с две. Другой удар слышен был в третьем часу в 22 же минуты и с той же стороны, но с большим против первого гудением, наподобие подземельного вихря; причем зыбление земли первого было больше, так что стоящие у казенного выхода часовые попадали. Сей второй удар не долее продолжался, как и первый. Третий удар сделался по вечеру в осьмом часу, но слабее двух первых.

*Четвертый удар был в первом часу пополудни с 12 на 13 число и был первым двум подобен, но вреда от них никакого не воспоследовало. То ж самое и в то же время было в Кизляре: земля колебалась, в домах многие печи попадали, и река Терек от зыблемости имела на себе такие волны, какие на пространных реках бывают.* Сообщение введено в научный оборот в работе [Никонов, 2020]. В каталоге [Мушкетов, Орлов, 1893] исключительно на основе публикаций в зарубежных газетах указывается, что землетрясение отразилось также и в Астрахани, хотя в действительности оттуда были отправлены сведения в Петербург о землетрясении в Моздоке и Кизляре, как видно из публикации в «Санкт-Петербургских ведомостях». А.А. Никонов [2020], акцентируя на том, что землетрясение началось «от южной стороны, то есть от Кавказских гор» – факте, отсутствовавшем в других описаниях, указывает на расположение источника колебаний в удалении от названных пунктов, а интенсивность сотрясений 23.02.1785 г. (по новому стилю) в Моздоке и Кизляре оценивается им в  $\sim 7 (\pm 0.5)$  баллов.

Ученые публикации в академической газете «Санкт-Петербургские ведомости» предварительно обсуждались на заседаниях Конференции Академии наук. В Санкт-Петербургском филиале Архива РАН (Ф. 1. Оп. 2. 1785. Ед. хр. 3. Л. 25–25 об.) обнаружен рукописный текст, идентичный газетной публикации, и соответствующий протокол: на заседании 31 марта 1785 г. академик Н.Я. Озерецковский зачитал отрывок из письма, в котором сообщалось о землетрясении в Моздоке и Кизляре; Конференция сочла эти сведения достаточно интересными для того, чтобы они были опубликованы в газете [Протоколы..., 1900, с. 808]. Краткое извлечение из этого протокола было опубликовано в академическом журнале на французском языке [Nova Acta..., 1788, p. 29]. Эти источники, прежде всего, свидетельствуют о том, что описание землетрясения было получено от очевидца.

Благодаря формированию сотрудниками Российского государственного архива древних актов электронных описей фонда «Кавказские дела», обнаружен обстоятельный рапорт генерал-майора при Кавказском корпусе А.А. Пеутлинга кавказскому генерал-губернатору П.С. Потемкину (Ф. 23. Оп. 1. Ч. 5. Ед. хр. 13. Ч. 14. Л. 146–146 об.) об этом же землетрясении с перечислением дополнительных пунктов: «...В Науре чувствуемо было первое [землетрясение] пополудни 2-го часа в 25-й минуте, продолжающееся две же минуты, от котораго в некоторых строениях разрушились печи, и двери из своих мест принужденно вышли. Река Терек по примечанию случившихся тогда на ней людей от зыбления земли имела волны, точно таковые, как на пространных реках от случающихся жестоких бурь бывают. Второе – в половине третьяго часа слабее перваго и продолжалось одну минуту. Третье – 4-го часа в 35-й минуте. Оное и четвертое, последовавшее в начале 8-го часа, едва только чувствуемо было. В редуте Григори Полиса примечено двоекратное землетрясение: первое – пополудни в начале четвертаго часа продолжалось одну минуту, спустя четверть часа – другой раз с полминуты. В Екатеринограде, в Павловской, Марьинской, Георгиевской крепостях и поселенных слободах также двоекратное землетрясение чувствуемо было: первое – в половине третьяго часа, а другое – спустя несколько минут, но весьма слабо. По благости Божией оное нигде вреда никакого не зделало». В упомянутой Наурской станице (современное поселение одноименного района Чеченской Республики) по совокупности повреждения строений и возмущения воды в р. Терек интенсивность оценивается не менее

6–7 баллов. Остальные перечисленные пункты располагались вдоль Азово-Моздокской линии и соответствуют современным поселениям и городам Ставропольского края России (Григориполисская станица, «Марьинская» – пос. Фазанный, гг. Новопавловск и Георгиевск) и Кабардино-Балкарской Республики (Екатериноградская станица), что свидетельствует о значительной области распространения 4–5-балльных сотрясений в отдалении от эпицентра.

В сопроводительной записке к своему рапорту (Там же. Л. 143 об. – 144) А.А. Пеутлинг сообщает о чувствительном афтершоке 15.03.1785 г. (по новому стилю), наблюдавшемся в Наурской станице: *«По собранию от всех мест известии о бывшем здесь на линии 12 февраля землетрясении обстоятельного описании, ныне к вашему высокопревосходительству посылаю, при том имею честь донести, что 4-го числа сего месяца пополудни 6-го часа в 50-той минуте в Науре оно опять чувствуемо было не более как две секунды, казавшееся с полудня».*

По всей видимости, произошедшее землетрясение оказало серьезное влияние на внутривосточную нестабильность региона и, возможно, стало одной из причин начала народно-освободительного движения горцев в 1785–1791 гг., как заключил профессор Н.А. Смирнов: *«В 80-х годах XVIII в. почва для вспышки стихийного движения на Северном Кавказе была достаточно подготовлена. Напряжение еще более усилилось после землетрясения, происшедшего в начале 1785 г. Это землетрясение и послужило поводом к выступлению Ушурмы (шейха Мансура)»* [Смирнов, 1958, с. 138].

Землетрясение внесено в базовые каталоги [Новый..., 1977; Shebalin, Leydecker, 1997] с указанием двух толчков 23 февраля (в том числе на форшок, который, наоборот, должен считаться главным ударом). В этих каталогах параметры даны с большим разбросом величин и неточностью в определении координат эпицентра и балльности, чему способствовало использование вторичных источников. Теперь ясно, что исходные данные, гораздо более надежные и подробные, были опубликованы спустя месяц после события в «Санкт-Петербургских ведомостях», а полноту картины добавляют материалы из центральных архивов. Землетрясение ощущалось в Моздоке и Кизляре, Науре, а также в нескольких пунктах Ставропольского края и Кабардино-Балкарии. Самым сильным отмечен первый толчок в Моздоке в 13 ч. 22 мин. по местному времени: на интенсивность 7–8-балльных сотрясений указывает падение часовых. Интенсивность в Науре и Кизляре оценивается в 6–7 баллов (падение печей (печных труб?), волны на р. Терек). Принципиальное значение имеет сообщение о приходе колебаний *«от южной стороны, то есть от Кавказских гор»*, и подземном стуке, *«в великой отдаленности происходящем»*. Вместе с продолжительностью гула, проявлением землетрясения на большой территории, прямые указания на приход колебаний с юга указывают на расположение очага землетрясения в горах Большого Кавказа. Можно предположить, что очаг этого события и был изучен в селении Ацонага.

### Обсуждение результатов

В руинах заброшенного селения Ацонага наблюдаются следы полного разрушения. Руины имеют систематические деформации, характерные для стен определенной ориентировки – наклоны с направленными обрушениями, S-образные и выпуклые изгибы, а также сдвиговые разрывы на всю высоту стен. Четкий набор

признаков показывает, что деформации возникли в результате сильного землетрясения с интенсивностью 9–10 баллов.

Обнаружены также первичные деформации. По данным георадарного профилирования и геолого-геоморфологических наблюдений разрывы разных типов образуют закономерный правосдвиговый структурный ансамбль кулисообразного чередования сдвига-сбросов ЗСЗ ориентировки – структур растяжения с правым сдвигом, и поперечных по отношению к ним надвигов – структур сжатия.

Правый сдвиг сместил древнюю дорогу, которая вела в центральное владение с боевой башней и домом-крепостью (ганахом) Хадарцевых. В результате последней подвижки произошло смещение на 0.9–1.1 м (один замер). После этого подпорная стена дороги была отремонтирована, т.е. жизнь в центральном владении и поселении продолжилась. Последняя подвижка сместила дорогу на 0.6–0.8 м (по двум замерам). В результате, верхняя часть дороги была заброшена, а на ней возведена сельскохозяйственная терраса. Позже и террасы были заброшены, а поверх них проложена современная дорога на сенокос. По всей видимости, причиной оставления старой Ацонаги стало также исчезновение источника воды, что могло быть связано с подвижкой по разлому, в зоне которого расположены многочисленные современные источники на горных склонах. Разновозрастные подвижки произошли в течение относительно короткого интервала времени. До этих двух последних подвижек смещения в голоцене происходили неоднократно и привели к правому сдвигу 1-ой надпойменной террасы долины р. Фиэгдон на 8–11 м.

По археосейсмологическим данным последнее сильное землетрясение произошло в XVIII–XIX вв. и привело к разрушениям построек в селении Дзивгис, расположенном в 1.2 км к северу от Ацонаги [Корженков и др., 2023]. Предыдущее землетрясение в Ацонаге произошло на последнем этапе бытования, начало которого по археологическим данным датируется XIV в. В Дзивгисе периодом XI–XV вв. датировано два сильных землетрясения с интенсивностью 8 и 9 баллов. Не исключено, что это было одно событие, очаг которого изучен в Ацонаге.

В опубликованных источниках и материалах из центральных архивов содержатся сведения о сильном землетрясении 23 февраля 1785 г., с тремя последовавшими толчками в течение полсуток и гораздо более поздним чувствительным афтершоком. Осуществленный поиск исторических документов и их комплексное рассмотрение позволило определить интенсивность проявления этого землетрясения, по крайней мере, в восьми населенных пунктах. Очаг землетрясения располагался в горах Большого Кавказа, к югу от Моздока, где были зафиксированы максимальные макросейсмические эффекты – 7–8 баллов. Предположительно, данный очаг и был изучен в осетинском селении Ацонага.

По всей видимости, произошедшее землетрясение оказало серьезное влияние на внутривулканическую нестабильность региона и, возможно, стало одной из причин начала народно-освободительного движения горцев в 1785–1791 гг. под руководством Ушурмы (шейха Мансура).

С использованием уравнения и коэффициентов для сейсмотектонической подвижки сдвиговой кинематики [Wells, Coppersmith, 1994] получены оценки магнитуды двух последних землетрясений –  $M=6.8-7.1$  (предпоследнее) и  $M=6.6-6.9$  (последнее). В этих оценках не учитывается вертикальная компонента подвижки, что характеризует полученные цифры как минимальные величины полученного интер-

вала магнитуд. Исследования в соседних котловинах Северо-юрской внутригорной впадины и привлечение более широкого круга исторических источников, вполне вероятно, уточнят параметры последнего землетрясения.

### Выводы

Имеющиеся данные позволяют полагать, что в Фиагдонской котловине за последние 600–700 лет произошло два сильных землетрясения с минимальными значениями  $M \geq 6.8$ ,  $M \geq 6.6$  и положением очага в подножии Скалистого хребта. При этих событиях подвижка в очаге субширотной ориентировки имела праводвиговую кинематику смещений. Последнее сильное землетрясение с интенсивностью в эпицентральной зоне 9–10 баллов, вероятнее всего, датируется 23 февраля 1785 г. В ближайшем крупном населенном пункте Моздок при событии 23 февраля 1785 г. были зафиксированы сотрясения интенсивностью 7–8 баллов. Кроме Моздока, землетрясение ощущалось, по меньшей мере, в семи населенных пунктах. Получены прямые данные для разработки сеймотектонической модели Северо-юрской зоны ВОЗ, которая, помимо пространственных параметров и сейсмического потенциала, содержит повторяемость сильных землетрясений и кинематику смещений в очаге.

### Литература

1. Бзаров Р.С. Три осетинских общества в середине XIX века. Орджоникидзе: Ир. – 1988. 155 с.
2. Варданянц Л.А. Сеймотектоника Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1935. 190 с.
3. Гмыря Л.Б., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. Вероятные палеосейсмические деформации на Рубасском археологическом памятнике середины VI в., Южный Дагестан. // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18. № 3. – С. 91–103.
4. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2010. – № 56. – С. 251–262.
5. 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.
6. Кузнецов В.А. Древности Куртатинского ущелья. Владикавказ: Проект-Пресс – 2014. 256 с.
7. Кузнецов В.А. Древности Алагирского ущелья. Владикавказ: Проект-Пресс. – 2016. 176 с.
8. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. СПб.: Тип. Имп. Акад. наук. – 1893. 582 с.
9. 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.
10. Никонов А.А. Сообщения о землетрясениях на территории России в газете «Санкт-Петербургские ведомости» и научные комментарии к ним. Часть первая. 1758–1783 годы. // Необычные и экстремальные явления XVIII века. Вып. 1 / Рук. проекта, сост. С.Ю. Нечаев; отв. ред. Н.В. Колпакова. – СПб.: БАН. – 2017. – С. 88–118.
11. Никонов А.А. Сообщения о землетрясениях на территории России в газете «Санкт-Петербургские ведомости» и научные комментарии к ним. Часть вторая. 1785–1795 годы. //

Необычные и экстремальные явления XVIII века. Вып. 3 / Рук. проекта, сост. С.Ю. Нечаев; отв. ред. Н.В. Колпакова. – СПб.: БАН. – 2020. – С. 130–147.

12. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. М.: Наука. – 1977. 535 с.

13. Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Гаджиев М.С., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. О сейсмоструктурной деформации раннесредневековой крепостной стены г. Дербент (Дагестан). // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 493. № 1. – С. 63–67.

14. Ольховский Г.П., Тибилов С.М. Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии. Владикавказ: ГПП «Севосгеологоразведка. – 1998.

15. 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.

16. Протоколы заседаний Конференции Императорской Академии наук с 1725 по 1803 года. Т. III: 1771–1785. СПб.: Тип. Имп. Акад. наук. – 1900. 976 с.

17. Рогожин Е.А. Сейсмоструктура центрального сектора Большого Кавказа как основа для сейсмического мониторинга и оценки сейсмической опасности. // Вестник Владикавказского научного центра РАН. – 2009. Т. 9. №. 4. – С. 16–22.

18. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. М.: ИФЗ РАН. – 2014. 256 с.

19. Рогожин Е.А., Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами. // Геофизика и математика XXI. Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики. М.: ОИФЗ РАН. – 2001. С. 279–299.

20. Свод наблюдений, произведенных в Главной физической обсерватории и подчиненных ей обсерваториях, по высочайшему повелению изданный Главным управлением корпуса горных инженеров за 1854 год / сост. А. Купфер. СПб. – 1856. 888 с.

21. СКЗ ОСР-2012. Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии для общего сейсмического районирования территории Российской Федерации / Отв. ред. В.И. Уломов. М.: 2012.

22. Сланов А.А. Памятники Куртатинского ущелья. Фортификационные системы. // Дарьял. – 2004. – № 1. – С. 220–223.

23. Смирнов Н.А. Политика России на Кавказе в XVI–XIX веках. М.: Изд-во социально-экономической литературы. – 1958. 244 с.

24. Солоненко В.П. Палеосейсмогеология. // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1973. – № 9. – С. 3–16.

25. Стром А.Л., Никонов А.А. Соотношение между параметрами сейсмогенных разрывов и магнитудой землетрясений. // Физика Земли. – 1997. – № 12. – С. 55–67.

26. Татевосян Р.Э. Макросейсмические исследования. М: Наука и образование. – 2013. 383 с.

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

28. Уварова П.С. Могильники Северного Кавказа. // Материалы по археологии Кавказа. Вып. 8. М. – 1900. 476 с.

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

30. Цагаева А.Дз. Топонимия Северной Осетии. Владикавказ: Ир. – 2010. 623 с.

31. Шевченко В.И. Происхождение структур горизонтального сжатия в складчатом сооружении (на примере Большого Кавказа). М.: Наука. – 1985. 157 с.

32. 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. // 9<sup>th</sup> International

Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR). 28–30 June 2017. Edinburgh, United Kingdom.

33. Burbank D.W., Anderson R.S. Tectonic geomorphology (2<sup>nd</sup> edition). Chichester, Wiley Blackwell. 2012. 454 p.

34. Korzhenkov A.M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient cities as fossil seismographs. // *Science and New Technologies*. – 1999. – No. 1. – pp. 62–74.

35. McCalpin J.P. (ed.) Paleoseismology. Elsevier, 2<sup>nd</sup> edition. – 2009. 613 p.

36. Nikonov A.A. On the methodology of archaeoseismic research into historical monuments. // *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Preservation and Protection* / Marinou P.G., Koukis G.C. (eds.). Balkema, Rotterdam. – 1988. pp. 1315–1320.

37. Nova Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae. T. III: Praecedat Historia Eiusdem Academiae ad Annum 1785. Petropoli: Typis Academiae Scientiarum. – 1788. 196 p.

38. Perrey A. Note sur les tremblements de terre en 1864, avec suppléments pour les années antérieures, de 1843 à 1863. // *Mémoires couronnés et autres mémoires, publiés par l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique*. Vol. 18. Bruxelles. – 1866. pp. 1–98.

39. Shebalin N.V., Leydecker G. Earthquake Catalogue for the Former Soviet Union and Borders up to 1988. European Commission, Report No. EUR 17245 EN, Nuclear Science and Technology Series. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. – 1997. 135 p.

40. Stiros S., Jones R.E. (eds.) Archaeoseismology. Fitch Laboratory occasional paper 7, British School at Athens. – 1996. 268 p.

41. 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. Bzarov R.S. Three Ossetian societies in the mid-19th century. *Ordzhonikidze. Ir.* 1988. 155 p. (in Russ.)

2. Vardanyants L.A. Seismotectonics of the Caucasus. Moscow. USSR Academy of Sciences, 1935. 190 p. (in Russ.)

3. Gmyrya L.B., Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S., Rogozhin E.A. Probable paleoseismic deformations at the Rubas archeological site, mid-6th century AD, South Dagestan. *Geophysical processes and biosphere*. 2019. Vol. 18. No. 3. pp. 91–103. (in Russ.)

4. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of the seismic hazard of the territory based on modern methods of detailed seismic microzonation. *Proceedings of the Institute of Geology of the DSC RAS*. 2010. No. 56. pp. 251–262. (in Russ.)

5. 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.)

6. Kuznetsov V.A. Antiquities of the Kurtatinsky Gorge. Vladikavkaz. Project-Press. 2014. 256 p. (in Russ.)

7. Kuznetsov V.A. Antiquities of the Alagir Gorge. Vladikavkaz: Project-Press. 2016. 176 p. (in Russ.)

8. Mushketov I.V., Orlov A.P. Catalog of earthquakes in the Russian Empire. Saint Petersburg. Imperial Academy of Sciences. 1893. 582 p. (in Russ.)

9. 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. *Doklady Earth Sciences*. 1993. Vol. 330. No. 6. pp. 740–744. (in Russ.)

10. Nikonov A.A. Reports about earthquakes on the territory of Russia in the newspaper “St. Petersburg Vedomosti” and scientific comments on them. Part one. 1758–1783. Unusual and



extreme phenomena of the 18th century. Vol. 1 Hand. project, comp. S.Yu. Nechaev; resp. ed. N.V. Kolpakova. Saint Petersburg. BAN. 2017. pp. 88–118. (in Russ.)

11. Nikonov A.A. Reports about earthquakes on the territory of Russia in the newspaper “St. Petersburg Vedomosti” and scientific comments on them. Part two. 1785–1795. Unusual and extreme phenomena of the 18th century. Vol. 3 Hand. project, comp. S.Yu. Nechaev; resp. ed. N.V. Kolpakova. Saint Petersburg. BAN. 2020. pp. 130–147. (in Russ.)

12. New Catalog of Earthquake in USSR from Ancient Times trough 1975. Kondorskaya, N.V. and Shebalin, N.V., Eds., Moscow: Nauka. 1977. 535 p. (in Russ.)

13. Ovsyuchenko A.N., Korzhenkov A.M., Gadjiev M.S., Larkov A.S., Rogozhin E.A. Seismotectonic deformation of the early medieval fortress wall of Derbent (Dagestan). *Doklady Earth Sciences*. 2020. Vol. 493. No 1. pp. 63–67. (in Russ.)

14. 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. (in Russ.)

15. 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). St. Petersburg: VSEGEI. 2006. 277 p. (in Russ.)

16. Protocols of the meetings of the Conference of the Imperial Academy of Sciences from 1725 to 1803. Vol. III: 1771–1785. Saint Petersburg. Imperial Academy of Sciences. 1900. 976 p. (in Russ.)

17. Rogozhin E.A. Seismotectonics of the central sector of the Greater Caucasus as a basis for seismic monitoring and assessment of seismic hazard. *Vestnik of Vladikavkaz Scientific Centre*. 2009. Vol. 9. No. 4. pp. 16–22. (in Russ.)

18. 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.)

19. Rogozhin E.A., Reisner G.I., Ioganson L.I. Assessment of the seismic potential of the Greater Caucasus and the Apennines by independent methods. *Geophysics and Mathematics XXI. Modern mathematical and geological models in problems of applied geophysics*. Moscow. UIPE RAS. 2001. pp. 279–299. (in Russ.)

20. A set of observations made at the Main Physical Observatory and its subordinate observatories, by the highest order, published by the Main Directorate of the Corps of Mining Engineers for 1854. Compiled by A. Kupfer. Saint Petersburg. 1856. 888 p. (in Russ.)

21. SCE GSZ-2012. Specialized catalog of earthquakes in Northern Eurasia for general seismic zoning of the territory of the Russian Federation. Responsible. ed. V.I. Ulomov. Moscow. 2012. (in Russ.)

22. Slanov A.A. Monuments of the Kurtatinsky Gorge. Fortification systems. *Daryal*. 2004. No. 1. pp. 220–223. (in Russ.)

23. Smirnov N.A. Russian policy in the Caucasus in the 16th–19th centuries. M.: Publishing house of socio-economic literature. 1958. 244 p. (in Russ.)

24. Solonenko V.P. Paleoseismogeology. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Physics of the Earth*. 1973. No. 9. pp. 3–16. (in Russ.)

25. Strom A.L., Nikonov A.A. Relationship between the parameters of seismogenic ruptures and the magnitude of earthquakes. *Physics of the Earth*. 1997. No. 12. pp. 55–67. (in Russ.)

26. Tatevosyan R.E. Macroseismic studies. Moscow. Science and Education. 2013. 383 p. (in Russ.)

27. Tmenov V.Kh. Medieval historical and architectural monuments of North Ossetia. *Ordzhonikidze. Ir*. 1984. 344 p. (in Russ.)

28. Uvarova P.S. Burial grounds of the North Caucasus. Materials on the archeology of the Caucasus. Vol. 8. Moscow. 1900. 476 p. (in Russ.)

29. Florensov N.A. Essays on structural geomorphology. Moscow. Nauka. 1978. 283 p. (in Russ.)

30. Tsagaeva A.Dz. Toponymy of North Ossetia. Vladikavkaz: Ir. 2010. 623 p. (in Russ.)
31. Shevchenko V.I. Origin of horizontal compression structures in folded structures (on the example of the Greater Caucasus). Moscow. Nauka. 1985. 157 p. (in Russ.)
32. 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. 9th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR). 28–30 June 2017. Edinburgh, United Kingdom.
33. Burbank D.W., Anderson R.S. Tectonic geomorphology (2nd edition). Chichester, Wiley Blackwell. 2012. 454 p.
34. Korzhenkov A.M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient cities as fossil seismographs. *Science and New Technologies*. 1999. No. 1. pp. 62–74.
35. McCalpin J.P. (ed.) Paleoseismology. Elsevier, 2nd edition, 2009. 613 p.
36. Nikonov A.A. On the methodology of archaeoseismic research into historical monuments. *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Preservation and Protection* / Marinos P.G., Koukis G.C. (eds.). Balkema. Rotterdam. 1988. pp. 1315–1320.
37. Nova Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae. T. III: Praecedit Historia Eiusdem Academiae ad Annum 1785. Petropoli: Typis Academiae Scientiarum. 1788. 196 p.
38. Perrey A. Note sur les tremblements de terre en 1864, avec suppléments pour les années antérieures, de 1843 à 1863. Mémoires couronnés et autres mémoires, publiés par l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique. Vol. 18. Bruxelles. 1866. pp. 1–98.
39. Shebalin N.V., Leydecker G. Earthquake Catalogue for the Former Soviet Union and Borders up to 1988. European Commission, Report No. EUR 17245 EN, Nuclear Science and Technology Series. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. 1997. 135 p.
40. Stiros S., Jones R.E. (eds.) Archaeoseismology. Fitch Laboratory occasional paper 7, British School at Athens. 1996. 268 p.
41. 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.