

СТЕПЕНЬ ВЛИЯНИЯ НЕОТЕКТОНИКИ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ АБИНСКОГО СЕГМЕНТА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

К.В. Фадеева, В.А. Зайцев*

Рельеф является одним из источников информации о неотектонической активности. С помощью структурно-геоморфологического анализа были выделены поверхности выравнивания, определены амплитуды смещений по разрывным нарушениям и величины неотектонических движений за отдельные промежутки времени. Полученные результаты сопоставлены с сейсмичностью и выявлена степень наследованности. С помощью программного обеспечения RMS Roxar рассчитывалось напряжённое состояние и направления осей сжатия в горизонтальной плоскости. Для более детального изучения новейшей геодинамики Абинского сегмента были проанализированы частоты возникновения землетрясений и величины выделяемой сейсмической энергии, построены графики повторяемости. При сопоставлении деформаций роста структур неотектонического поднятия и величин новейшего напряжённого состояния с сейсмичностью была выявлена их значительная корреляция.

Ключевые слова: Абинский сегмент (Северо-Западный Кавказ), неотектоника, сейсмичность, структурно-геоморфологический анализ, напряжённое состояние.

Ссылка для цитирования: Фадеева К.В., Зайцев В.А. Степень влияния неотектоники на сейсмичность Абинского сегмента Северо-Западного Кавказа // Жизнь Земли. 2024. Т. 46, № 2. С. 163–171. DOI: 10.29003/m4155.0514-7468.2023_46_2/163-171.

Поступила 01.03.2024 / Принята к публикации 29.05.2024

INFLUENCE OF NEOTECTONICS ON SEISMICITY OF THE ABINSK SEGMENT, NORTHWESTERN CAUCASUS

K.V. Fadeyeva, V.A. Zaitsev, PhD

Lomonosov Moscow State University (Faculty of Geology)

Relief is one of the sources of information about neotectonic activity. Using structural-geomorphological analysis, it is possible to identify weak zones, which often reflect hidden low-amplitude faults and fracture zones under the surface of Quaternary deposits. Using structural-geomorphological analysis, planation surfaces were identified, displacement amplitudes along faults and the magnitude of neotectonic movements were determined for certain periods of time. The results obtained were compared with seismicity and the degree of inheritance was revealed. 3D computer geological modeling of the stress state also helps in identifying zones of increased neotectonic activity, as the most dangerous zones in terms of seismicity. The stress state and directions of the compression axes in the horizontal plane were calculated using the RMS Roxar software. Also, for a more detailed study of the latest geodynamics of the Abinsk segment, the frequencies of earthquakes and the amount of seismic energy released were analyzed, and frequency graphs were plotted. When comparing the growth deformations of neotectonic uplift structures and the values of the latest stress state with seismicity, their significant correlation was revealed.

* Фадеева Карина Васильевна – магистр, karina-fadeeva-2000@mail.ru; Зайцев Владимир Александрович – к.г.н., с.н.с., v.zaitsev@mail.ru, геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.

Keywords: Abinsk segment (Northwestern Caucasus), neotectonics, seismicity, structural-geomorphological analysis, stress state.

For citation: Fadeyeva, K.V., Zaitsev, V.A., “Influence of neotectonics on seismicity of the Abinsk segment, Northwestern Caucasus”, *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **46**, no 2, 163–171 (2024) (in Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.29003/m4155.0514-7468.2023_46_2/163-171.

Введение. Абинский сегмент расположен на северо-западе Большого Кавказа. Граница сегмента проходит по рекам Кубань, Шебш, Шапсухо. Эта территория особо интересна с точки зрения сейсмичности из-за большого количества землетрясений, что является фактором повышенной опасности отдыхающих на местных курортах. Данная работа нацелена на изучение взаимосвязи сейсмичности и неотектоники Северо-Западного Кавказа. Для изучения неотектоники сегмента были использованы результаты структурно-геоморфологического анализа и интерпретация этих материалов с помощью трёхмерного геологического моделирования.

Результаты и обсуждение. Одним из источников информации неотектонической активности является рельеф. Основное внимание было обращено на изучение не пликативных, а дизъюнктивных деформаций, т. к. разрывные нарушения – это структуры, которые коррелируются с землетрясениями. С помощью особенностей геоморфологического строения были выявлены слабые зоны (**рис. 1**), которые часто являются отражением в рельефе скрытых под чехлом четвертичных отложений малоамплитудных разрывных нарушений и зон трещиноватости [1]. Дешифрирование производилось в соответствии с критериями, предложенными Н.П. Костенко: анализ форм гидросети и изолиний рельефа. Слабые зоны выделялись на основе топографических карт масштаба 1:500 000 и цифровой модели SRTM. По схеме слабых зон сегмента можно отметить, что наибольшее количество линеаментов тяготеет к главному хребту Большого Кавказа, что указывает на их новейшую активность.

По построенным продольному и поперечным геоморфологическим профилям (вертикальный масштаб 1:25 000, горизонтальный масштаб 1:200 000) удалось выделить семь уровней выравнивания (**рис. 2**): до 200 м, 250–300 м, 400–500 м, 500–550 м, 550–600 м, 650–750 м и больше 800 м, самый древний (наивысший по гипсометрическому уровню) из которых имеет позднеплиоценовый возраст [4]. Эта поверхность имеет плохую сохранность на изучаемой территории и отмечается только в самых высоких частях, на востоке сегмента. В то время как самая низкая (молодая) поверхность выравнивания широко развита на всей изучаемой территории и имеет верхне-неоплейстоценовый возраст [4].

Рис. 2 представляет поперечные профили, построенные в ArcGIS с помощью встроенного модуля построения разрезов ВСЕГЕИ. На профилях В1-В2, Г1-Г2 и Е1-Е2 выделяются Анапско-Агойская синклиальная зона (со средней высотой 400 м), Семигорская антиклинальная зона (620 м), Тхабско-Шапсугская синклиальная зона (850 м), Гойтхский антиклинорий (600 м), Абино-Гунайская зона (440 м) и Азовская антиклинальная зона (210 м), границами которых служат крупные разрывные нарушения, такие как Семигорский, Безепский, Псебепский, Вернеабинский, Тхамахинский, Ахтырский и Медвежьегорский. Профиль Г1-Г2 по расположению близок к профилю Е1-Е2, но на данном профиле присутствует самая древняя поверхность выравнивания – позднеплиоценовая. Интерпретация геоморфологических профилей даёт возможность уточнить расположение линеаментов и перевести их в ранг разрывных нарушений при наличии вертикального смещения [3].

СТЕПЕНЬ ВЛИЯНИЯ НЕОТЕКТОНИКИ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ АБИНСКОГО СЕГМЕНТА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

К.В. Фадеева, В.А. Зайцев*

Рельеф является одним из источников информации о неотектонической активности. С помощью структурно-геоморфологического анализа были выделены поверхности выравнивания, определены амплитуды смещений по разрывным нарушениям и величины неотектонических движений за отдельные промежутки времени. Полученные результаты сопоставлены с сейсмичностью и выявлена степень наследованности. С помощью программного обеспечения RMS Roxar рассчитывалось напряжённое состояние и направления осей сжатия в горизонтальной плоскости. Для более детального изучения новейшей геодинамики Абинского сегмента были проанализированы частоты возникновения землетрясений и величины выделяемой сейсмической энергии, построены графики повторяемости. При сопоставлении деформаций роста структур неотектонического поднятия и величин новейшего напряжённого состояния с сейсмичностью была выявлена их значительная корреляция.

Ключевые слова: Абинский сегмент (Северо-Западный Кавказ), неотектоника, сейсмичность, структурно-геоморфологический анализ, напряжённое состояние.

Ссылка для цитирования: Фадеева К.В., Зайцев В.А. Степень влияния неотектоники на сейсмичность Абинского сегмента Северо-Западного Кавказа // Жизнь Земли. 2024. Т. 46, № 2. С. 163–171. DOI: 10.29003/m4155.0514-7468.2023_46_2/163-171.

Поступила 01.03.2024 / Принята к публикации 29.05.2024

INFLUENCE OF NEOTECTONICS ON SEISMICITY OF THE ABINSK SEGMENT, NORTHWESTERN CAUCASUS

K.V. Fadeyeva, V.A. Zaitsev, PhD

Lomonosov Moscow State University (Faculty of Geology)

Relief is one of the sources of information about neotectonic activity. Using structural-geomorphological analysis, it is possible to identify weak zones, which often reflect hidden low-amplitude faults and fracture zones under the surface of Quaternary deposits. Using structural-geomorphological analysis, planation surfaces were identified, displacement amplitudes along faults and the magnitude of neotectonic movements were determined for certain periods of time. The results obtained were compared with seismicity and the degree of inheritance was revealed. 3D computer geological modeling of the stress state also helps in identifying zones of increased neotectonic activity, as the most dangerous zones in terms of seismicity. The stress state and directions of the compression axes in the horizontal plane were calculated using the RMS Roxar software. Also, for a more detailed study of the latest geodynamics of the Abinsk segment, the frequencies of earthquakes and the amount of seismic energy released were analyzed, and frequency graphs were plotted. When comparing the growth deformations of neotectonic uplift structures and the values of the latest stress state with seismicity, their significant correlation was revealed.

* Фадеева Карина Васильевна – магистр, karina-fadeeva-2000@mail.ru; Зайцев Владимир Александрович – к.г.н., с.н.с., v.zaitsev@mail.ru, геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.

Keywords: Abinsk segment (Northwestern Caucasus), neotectonics, seismicity, structural-geomorphological analysis, stress state.

For citation: Fadeyeva, K.V., Zaitsev, V.A., “Influence of neotectonics on seismicity of the Abinsk segment, Northwestern Caucasus”, *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **46**, no 2, 163–171 (2024) (in Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.29003/m4155.0514-7468.2023_46_2/163-171.

Введение. Абинский сегмент расположен на северо-западе Большого Кавказа. Граница сегмента проходит по рекам Кубань, Шебш, Шапсухо. Эта территория особо интересна с точки зрения сейсмичности из-за большого количества землетрясений, что является фактором повышенной опасности отдыхающих на местных курортах. Данная работа нацелена на изучение взаимосвязи сейсмичности и неотектоники Северо-Западного Кавказа. Для изучения неотектоники сегмента были использованы результаты структурно-геоморфологического анализа и интерпретация этих материалов с помощью трёхмерного геологического моделирования.

Результаты и обсуждение. Одним из источников информации неотектонической активности является рельеф. Основное внимание было обращено на изучение не пликативных, а дизъюнктивных деформаций, т. к. разрывные нарушения – это структуры, которые коррелируются с землетрясениями. С помощью особенностей геоморфологического строения были выявлены слабые зоны (**рис. 1**), которые часто являются отражением в рельефе скрытых под чехлом четвертичных отложений малоамплитудных разрывных нарушений и зон трещиноватости [1]. Дешифрирование производилось в соответствии с критериями, предложенными Н.П. Костенко: анализ форм гидросети и изолиний рельефа. Слабые зоны выделялись на основе топографических карт масштаба 1:500 000 и цифровой модели SRTM. По схеме слабых зон сегмента можно отметить, что наибольшее количество линеаментов тяготеет к главному хребту Большого Кавказа, что указывает на их новейшую активность.

По построенным продольному и поперечным геоморфологическим профилям (вертикальный масштаб 1:25 000, горизонтальный масштаб 1:200 000) удалось выделить семь уровней выравнивания (**рис. 2**): до 200 м, 250–300 м, 400–500 м, 500–550 м, 550–600 м, 650–750 м и больше 800 м, самый древний (наивысший по гипсометрическому уровню) из которых имеет позднеплиоценовый возраст [4]. Эта поверхность имеет плохую сохранность на изучаемой территории и отмечается только в самых высоких частях, на востоке сегмента. В то время как самая низкая (молодая) поверхность выравнивания широко развита на всей изучаемой территории и имеет верхне-неоплейстоценовый возраст [4].

Рис. 2 представляет поперечные профили, построенные в ArcGIS с помощью встроенного модуля построения разрезов ВСЕГЕИ. На профилях В1-В2, Г1-Г2 и Е1-Е2 выделяются Анапско-Агойская синклиальная зона (со средней высотой 400 м), Семигорская антиклинальная зона (620 м), Тхабско-Шапсугская синклиальная зона (850 м), Гойтхский антиклинорий (600 м), Абино-Гунайская зона (440 м) и Азовская антиклинальная зона (210 м), границами которых служат крупные разрывные нарушения, такие как Семигорский, Безепский, Псебепский, Вернеабинский, Тхамахинский, Ахтырский и Медвежьегорский. Профиль Г1-Г2 по расположению близок к профилю Е1-Е2, но на данном профиле присутствует самая древняя поверхность выравнивания – позднеплиоценовая. Интерпретация геоморфологических профилей даёт возможность уточнить расположение линеаментов и перевести их в ранг разрывных нарушений при наличии вертикального смещения [3].

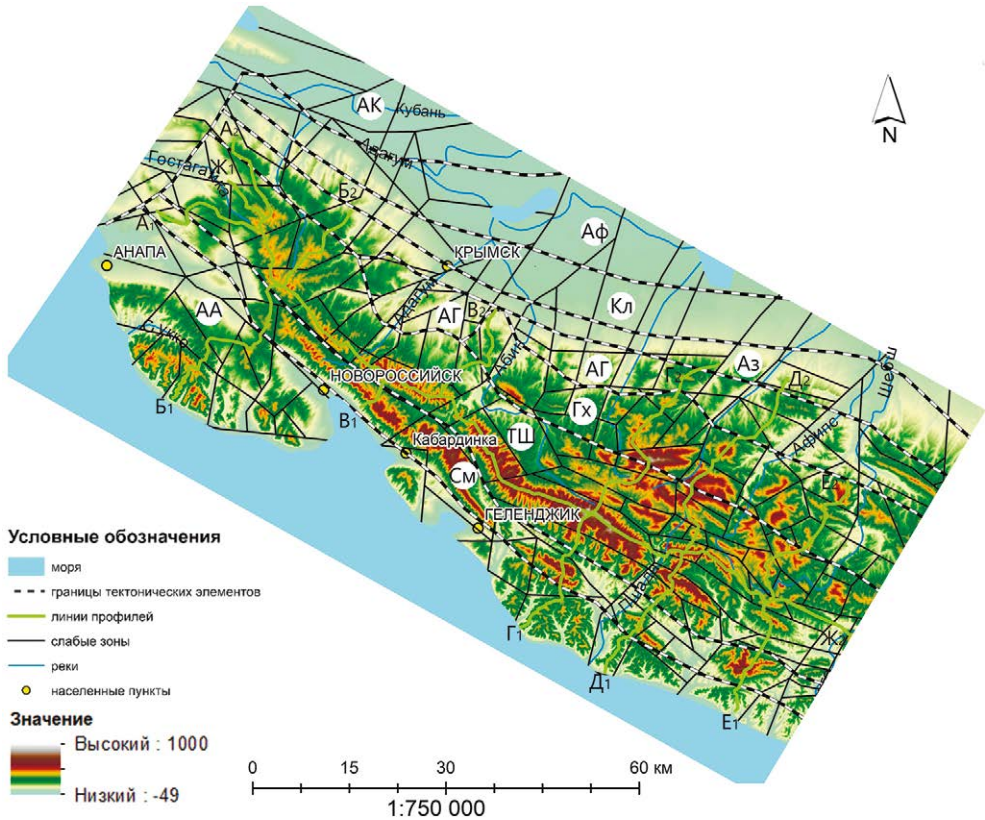


Рис. 1. Слабые зоны и линии профилей Абинского сегмента Северо-Западного Кавказа. Тектонические элементы: АК – Анастастиевско-Краснодарская антиклинальная зона; Аф – Адагумо-Афипская впадина; Кл – Калужский антиклинальный пояс; Аз – Азовская антиклинальная зона (пояс); АГ – Абино-Гунайская зона; Гх – Гойтхский антиклинорий; ТШ – Тхабско-Шапсугская синклиальная зона; См – Семигорская антиклинальная зона; АА – Анапско-Агойская синклиальная зона.

Fig. 1. Weak zones and profile lines of the Abinsk segment of the Northwestern Caucasus. Tectonic elements: АК – Anastastievsko-Krasnodar anticlinal zone; Аф – Adagumo-Afipa depression; Кл – Kaluga anticlinal belt; Аз – Azov anticlinal zone (belt); АГ – Abino-Gunai zone; Гх – Goytkh anticlinorium; ТШ – Tkhabsko-Shapsug synclinal zone; См – Semigorsk anticlinal zone; АА – Anapa-Agoi synclinal zone.

С помощью выделенных ранее поверхностей выравнивания была построена карта неотектоники (рис. 3). Для её расчётов использовалось программное обеспечение RMS Roxar. По карте можно заметить, что наибольшие отметки (порядка 700 м) характерны для осевой части Большого Кавказа. Такие же высоты получены Л.В. Паниной по её карте неотектоники Северного Кавказа, построенной в 2013 г. Помимо продольных структур с высокими значениями амплитуды, выделяются также поперечные структуры в районе Абрауского полуострова и несколько – в районе реки Пшада.

Абинский сегмент Северо-Западного Кавказа представляет собой погружающееся на запад сводово-глыбовое поднятие с относительно слабыми амплитудами до 1 км. Согласно карте неотектоники, на данной территории выделяются две ступени, описанные Е.Е. Милановским [2]: Новороссийская и Афипская, с амплитудами поднятия 650

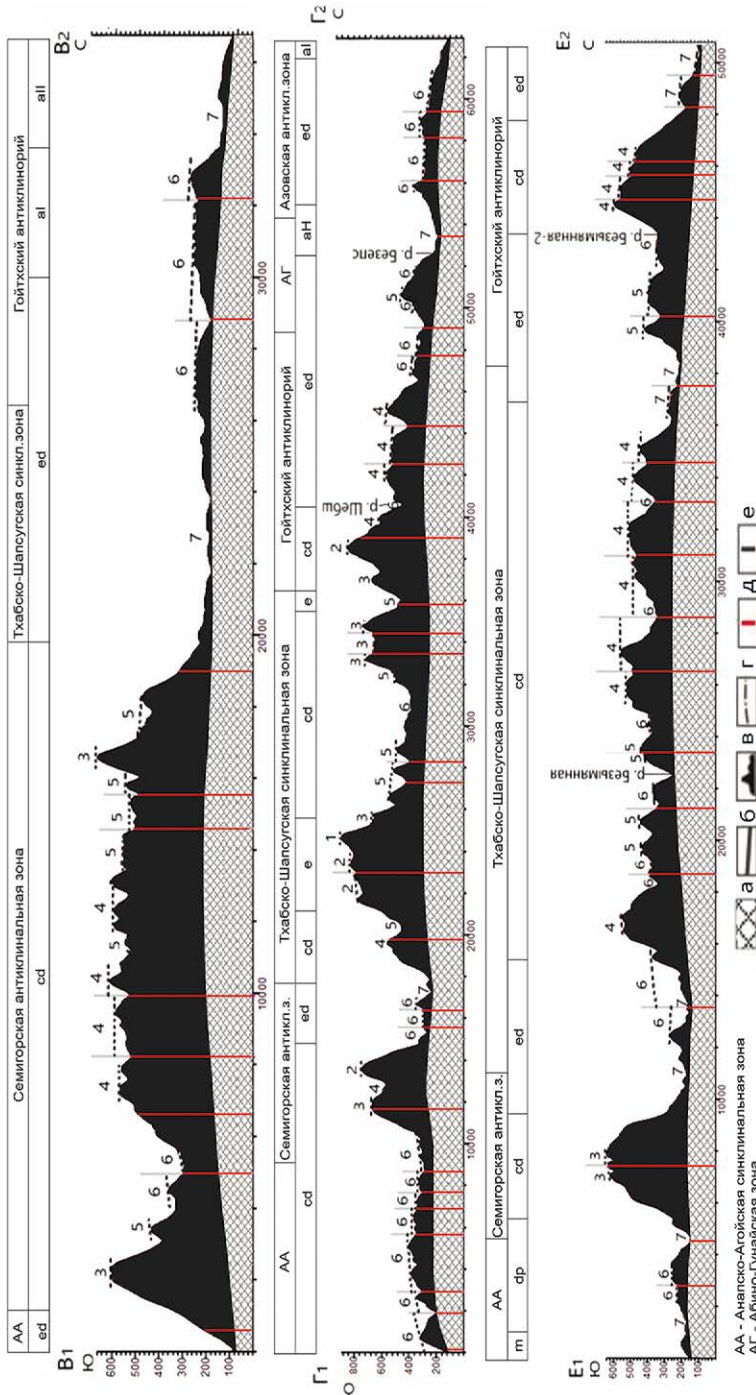


Рис. 2. Наиболее информативные поперечные геоморфологические профили по водораздельным поверхностям (см. рис. 1): а – массив, не подвергшийся денудации, б – линия, соединяющая наиболее глубокие врезы речных долин, в – зона водораздельной денудации и донной эрозии, г – обобщающие линии изгибов и наклонов поднятий, д – новейшие разрывы, е – линия для оценки амплитуды смещения по новейшему разрыву. Генетический тип отложений: с-д – коллювиально-делювиальные, а – аллювиальные, е-д – элювиально-делювиальные, д-р – делювиально-пролювиальные, м – морские, е – элювиальные. Возраст пород: I – нижний неоплеистоцен, II – средний неоплеистоцен, H – голоцен.

Fig. 2. The most informative transverse geomorphological profiles along watershed surfaces (see Fig. 1). а – massif that has not undergone denudation, б – line connecting the deepest incisions of river valleys, в – zone of watershed denudation and bottom erosion, г – generalizing lines of bends and slopes of uplifts, д – the newest faults, е – line for assessing the amplitude of displacement along the newest gap. Genetic type of sediments: с-д – colluvial-deluvial, а – alluvial, е-д – eluvial-deluvial, д-р – colluvial-proluvial, м – marine, е – eluvial. Age of rocks: I – lower Neopleistocene, II – middle Neopleistocene, H – Holocene.

и 770 м соответственно. Также можно отметить крутой южный склон общего Кавказского поднятия и пологий северный, переходящий в Западно-Кубанский краевой прогиб. Кавказский свод нарушен множеством как продольных (Ахтырский, Псебепский, Безепский – взбросо-надвиги), так и поперечных (Абрауская зона) разрывных нарушений, которые также являются границами выделенных ступеней. Само горное сооружение на новейшем этапе развития испытывает рост и вовлекает в поднятие сопредельные области.

Сопоставление неотектоники и сейсмичности Абинского сегмента показало, что землетрясения на данной территории хорошо коррелируют с новейшими поднятиями (43,2 %), т. е. можно говорить о высокой степени унаследованности напряжённого состояния развития структур.

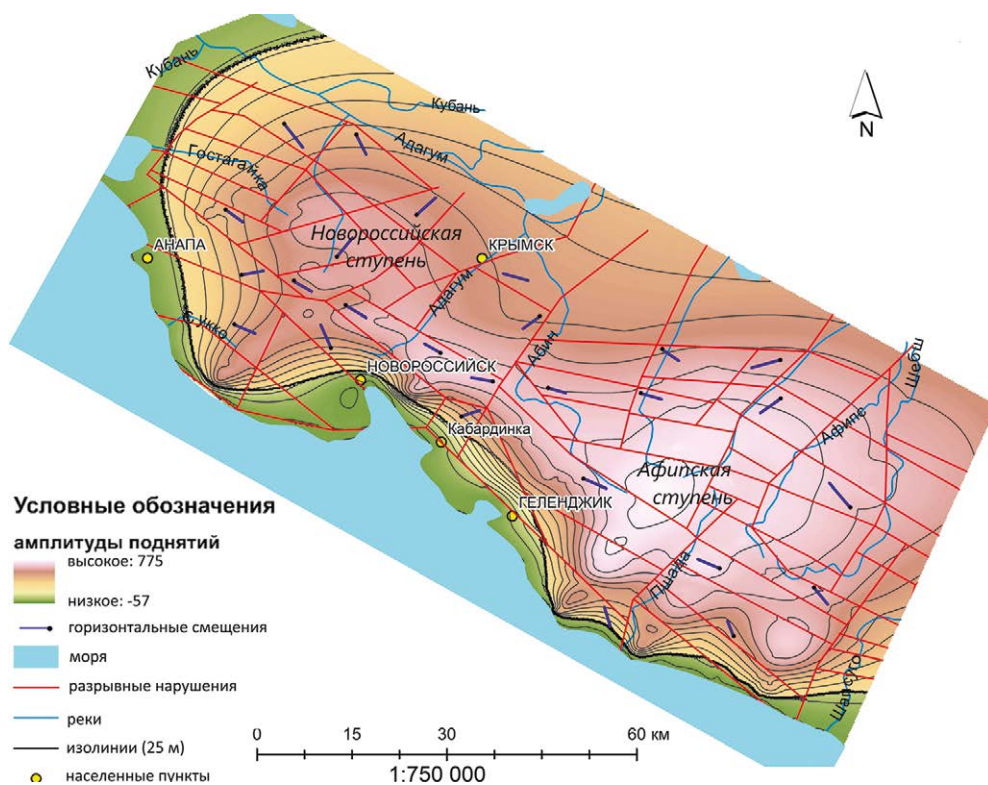


Рис. 3. Карта неотектоники Абинского сегмента Северо-Западного Кавказа с указанием горизонтальной компоненты.

Fig. 3. Map of neotectonics of the Abinsk segment of the Northwestern Caucasus indicating the horizontal component.

Благодаря компьютерному моделированию была получена схема напряжённого состояния (рис. 4). Для моделирования задавалась ось горизонтального сжатия – СВ 20 (перпендикулярное направление к основным структурам Большого Кавказа), используемая ранее ЦМР, и система разрывных нарушений, уточнённая геоморфологическими профилями. Основной выделяемый диапазон сжимающих напряжений составил 20–40° северо-восточного направления. Высокие значения наблюдаются в местах пересече-

ния двух и более разрывных нарушений. Также можно заметить, как землетрясения хорошо коррелируют с системой слабых зон. Напряжения сжатия чаще реализуются в виде землетрясений на участках, где ориентировка напряжённого состояния является перпендикулярной по отношению к простиранию Главного Кавказского хребта, и в заметно меньшей степени на участках, где ориентировки напряжений параллельны основной структуре Кавказа.

Чтобы проследить связь между неотектоникой и сейсмичностью Абинского сегмента Северо-Западного Кавказа, также были собраны данные из таких каталогов землетря-

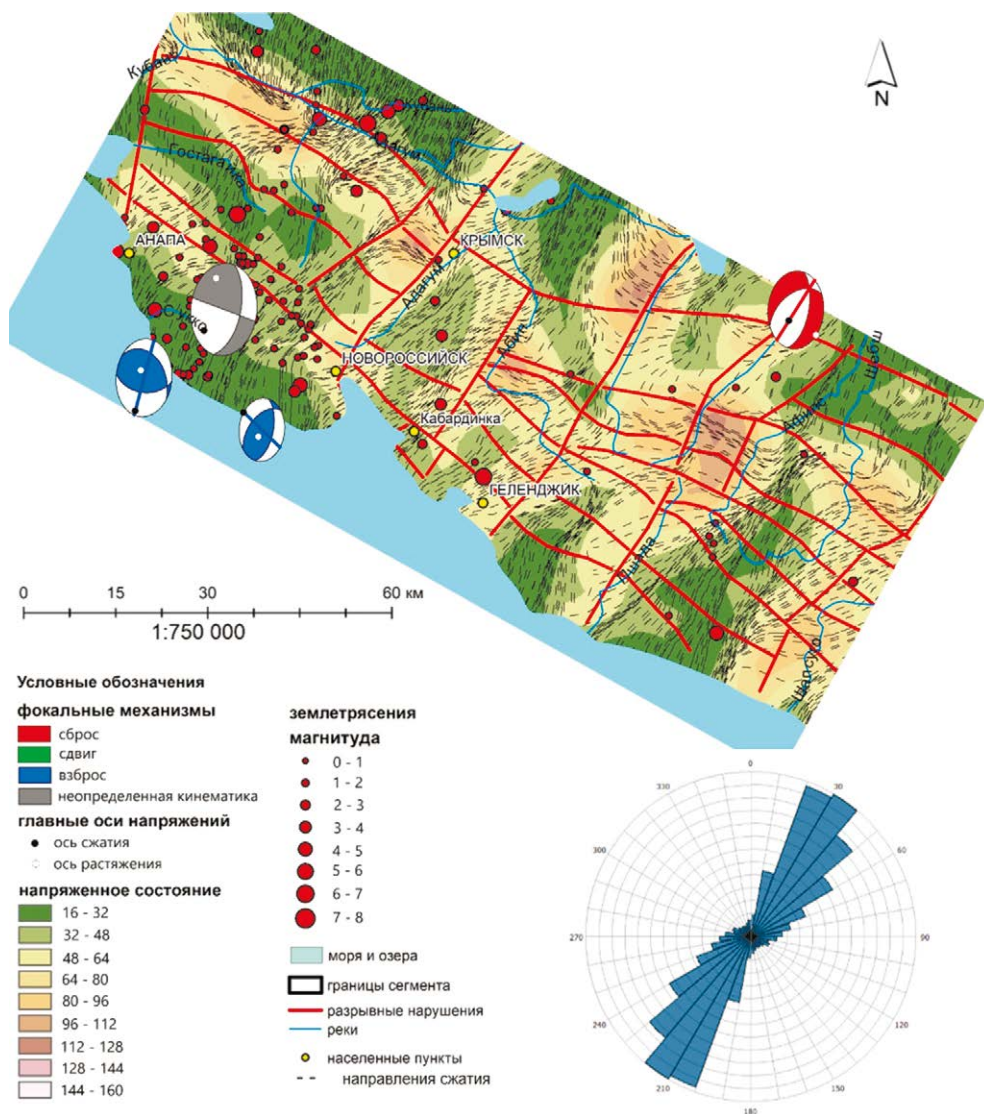
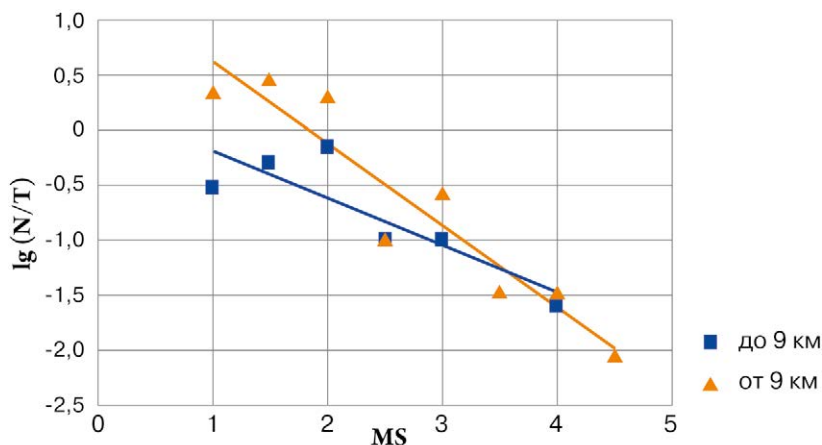


Рис. 4. Схема напряжённого состояния и роза-диаграмма ориентировок осей сжатия Абинского сегмента.

Fig. 4. Scheme of the stress state and the rose diagram of orientations of the compression axes of the Abinsk segment.

сений, как USGS, ЕГС РАН и др. Общее число землетрясений на данной территории составило 204 события. При анализе сейсмичности рассматривались частоты возникновения землетрясений и величины выделяемой сейсмической энергии, построены графики повторяемости (рис. 5). Из-за неравномерного распределения гипоцентров выделены два глубинных уровня – до 9 и более 9 км, что указывает на вертикальную сейсмическую неоднородность сегмента.



Глубина (км)	Уравнение	Средняя выделявшаяся энергия, Дж	Магнитуда (средняя)
до 9	$y = -0,4595x + 0,2656$	4,9E+11	3,3
от 9	$y = -0,7451x + 1,366$	1,09E+15	5,1

Рис. 5. Уравнения и графики повторяемости землетрясений на разных глубинных уровнях: синий – для землетрясений с гипоцентрами до 9 км, оранжевый – для землетрясений с гипоцентрами от 9 км.

Fig. 5. Equations and graphs of the frequency of earthquakes at different depth levels: blue – for earthquakes with hypocenters to 9 km, orange – for earthquakes with hypocenters from 9 km.

В таблице (см. рис. 5) приведены уравнения графиков повторяемости, средние выделявшиеся энергии и средние магнитуды по Абинскому сегменту. Уравнение графика повторяемости имеет вид: $y = -bMS + a$, где: a – суммарная интенсивность сейсмических проявлений, сейсмическая активность, b – наклон графика, соотношение между сильными и слабыми сейсмическими событиями.

В пределах Абинского сегмента график повторяемости для глубинных землетрясений (от 9 км) заметно круче. График повторяемости менее глубинного уровня (до 9 км) меньше по крутизне и выделявшаяся энергия заметно ниже, а вместе с тем – и средняя магнитуда. Таким образом, с глубиной растёт выделявшаяся сейсмическая энергия. Гипоцентры в пределах этой области не отличаются высокими магнитудами: 1–4,5 (максимальное значение 6,1).

Корреляция между количеством гипоцентров (карта плотностей гипоцентров) и плотностью слабых зон достаточно высока – 67,3 %, причём гипоцентры на глубинах до 9 км («приповерхностные») в большей степени находят своё отражение в рельефе. Более глубинные землетрясения немного хуже коррелируют с линеаментами, т. к. сей-

смогенирующие разрывы на глубине ориентированы не вертикально, как было задано в нашей модели.

При сопоставлении величины напряжённого состояния с плотностью землетрясений на глубине от 9 км корреляция составила 26,3 %. Для других глубинных уровней число заметно меньше. Новейшее поле напряжений в большей степени отражается в приповерхностных землетрясениях.

Решения фокальных механизмов были также разделены по глубинным уровням (до 9 км и глубже 9 км). В пределах Абинского сегмента нет решений фокальных механизмов на глубинах до 9 км. У единственного известного события вертикальная плоскость разрыва, что указывает на сложность определения его кинематического типа. Также в акваториальной части у северо-восточного берега Чёрного моря есть пара событий (глубже 9 км) с взбросовым типом подвижки в очаге землетрясения. В идеальном варианте оси сжатия должны иметь СВ ориентировку, но, помимо продольных разрывных нарушений, есть и поперечные. При этом фокальный механизм с СЗ ориентировкой оси сжатия как раз расположен в зоне продольного разлома. Таким образом, можно утверждать, что область Анапа–Новороссийск (Новороссийская ступень) надвинута на восточную часть сегмента. Ближе к главному хребту тяготеют землетрясения со сбросовым типом подвижки. Оси растяжения направлены вдоль основной структуры Кавказа, т. е. образуются «ступеньки растяжения». По решениям фокальных механизмов можно сделать вывод, что Абинский сегмент Большого Кавказа представляет собой «асимметричный грабен» (западная часть надвинута на центральную, а центральная опущена относительно восточной, **рис. 6**).

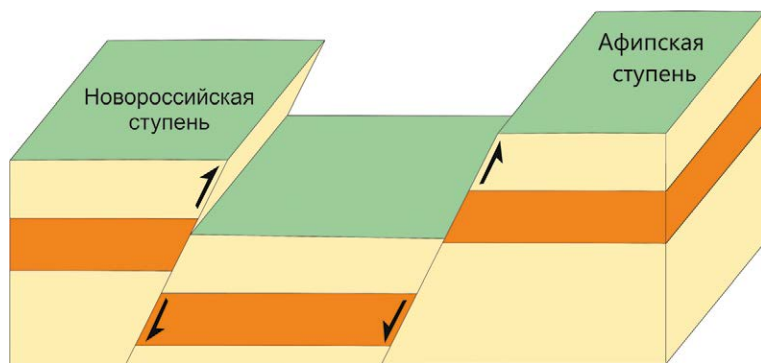


Рис. 6. Схема строения «асимметричного грабена» Абинского сегмента Большого Кавказа.
Fig. 6. Scheme of the “asymmetric graben” structure of the Abinsk segment of the Greater Caucasus.

По карте напряжённого состояния (см. рис. 4) также можно отметить, что повышенная сейсмичность (Новороссийская ступень) связана с более низкими значениями напряжения. Можно предположить, что центральная часть сегмента более прогрета, и тем самым здесь преобладают пластичные деформации, а не хрупкие. По карте неотектоники (рис. 3) центральная часть сегмента является самой узкой («расплющивание» при СВ сжатии), что также указывает на то, что преобладают не хрупкие деформации, а пластичные.

Заключение. Таким образом, степень влияния неотектоники Абинского сегмента на сейсмичность зависит от величины вертикальных движений, которые сформировали

морфоструктуру сегмента. В результате этих движений произошло перераспределение напряжений, которые оказывали воздействие на геологическую среду, вследствие чего происходили смещения по существующим неоднородностям, что стало причиной землетрясений на территории Абинского сегмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев В.А., Панина Л.В. Новейшая геодинамика и сейсмичность Северо-Западного и Центрального Кавказа // Материалы Всерос. науч. конф. «Современные проблемы динамической геологии». М., 2021. С. 67–77.
2. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с.
3. Панина Л.В. Новейшие структуры и рельеф Земли. М.: Изд-во «Перо», 2019. 115 с.
4. Черных В.И., Шельтинг С.А. Карта четвертичных образований. Кавказская серия. Лист L37-XXVI (Новороссийск). М. 1:200 000 // Государственная геологическая карта Российской Федерации. 2-е изд. СПб: ВСЕГЕИ, 2008.

REFERENCES

1. Zaitsev, V.A., Panina, L.V., “The latest geodynamics and seismicity of the Northwestern and Central Caucasus”, *Materials of sci. conf. “Modern problems of dynamic geology”*, (Moscow, 2021. P. 67–77) (in Russian).
2. Milanovsky, E.E., *The latest tectonics of the Caucasus* (Moscow: Nedra, 1968).
3. Panina, L.V., *The latest structures and terrain of the Earth* (Moscow: Pero Publishing House, 2019) (in Russian).
4. Chernykh, V.I., Shelting, S.A., “Map of Quaternary formations. Caucasian series. Sheet L37-XXVI (Novorossiysk). Scale 1:200,000”, *State geological map of the Russian Federation*. 2nd ed. (St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2008) (in Russian).