

УДК 550.24

DOI: 10.46698/VNC.2024.24.44.004

Оригинальная статья

Оценка геосейсмической опасности северо-восточного сегмента Восточного Кавказа

Р.А. Магомедов 

Институт геологии ДФИЦ РАН, Россия, 367030, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75,
e-mail: ra-mag@yandex.ru

Статья поступила: 09.09.2023, доработана: 12.02.2024, принята к публикации: 16.02.2024

Резюме: Актуальность работы. Регион Восточного Кавказа является самым сейсмоактивным в европейской части России. Актуальность проводимых исследований в рамках государственного задания по оценке сейсмической безопасности региона не вызывает сомнений. Потенциальный уровень сейсмической опасности блоков земной коры является важнейшим показателем оценки степени сейсмической опасности исследуемого региона. Она позволяет идентифицировать сейсмогенерирующие структуры региона и приблизиться к составлению детальной карты зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ). **Цель исследования.** Оценка уровня геосейсмической опасности блоков земной коры исследуемого региона и выделение потенциальных зон ожидания возможных очагов катастрофических землетрясений в исторической перспективе. **Методы исследования.** Основными методами исследования являются анализ пространственно-временного распределения сейсмичности за инструментальный период наблюдений, анализ каталога исторических землетрясений, исследований по изучению следов палеосейсмичности, а также, экспертная оценка уровня геосейсмической опасности блоков земной коры по комплексу геосейсмологических показателей, таких как мощность земной коры, протяженность дизъюнктивных зон фундамента и осадочного чехла, наличие следов палеосейсмичности, мощность сейсмоактивного слоя, сейсмическая активность и наклон графика повторяемости землетрясений, максимальная отмеченная (наблюденная) магнитуда, период последней активизации и тектоническая активность. **Результаты исследования.** В результате проведенных исследований впервые проведена количественная оценка геосейсмической опасности территории северо-восточного сегмента Восточного Кавказа. Проведенные исследования позволяют идентифицировать сейсмогенерирующие структуры, закартировать (в условных единицах) потенциальный уровень геосейсмической опасности исследуемой территории и приблизиться к составлению детальной карты зон ВОЗ. Установлено, что области с максимальными значениями потенциала геосейсмической опасности пространственно совпадают с зонами возможных очагов сильных землетрясений, имеющими историческую активность и приурочены к зоне пересечения субкавказских глубинных разломов с главным кавказским структурным элементом – Аграхано-Тбилиско-Левантийской левосдвиговой зоной 1-го порядка.

Ключевые слова: региональная геотектоника, сейсмичность, палеосейсмичность, современная сейсмичность, сейсмическая активность, сейсмическая опасность, магнитуда, тектонические напряжения.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИГ ДФИЦ РАН по теме НИР, Рег. номер НИОКТР 1021060808491-6-1.5.6.

Для цитирования: Магомедов Р.А. Оценка геосейсмической опасности северо-восточного сегмента Восточного Кавказа. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(1): 49-63. DOI: 10.46698/VNC.2024.24.44.004

DOI: 10.46698/VNC.2024.24.44.004

Original paper

Assessment of geoseismic hazard of the north-eastern segment of the Eastern Caucasus

R.A. Magomedov 

Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences,
75 Yaragskogo Str., Makhachkala 367030, Russian Federation,
e-mail: ra-mag@yandex.ru

Received: 09.09.2023, revised: 12.02.2024, accepted: 16.02.2024

Summary: Relevance. The Eastern Caucasus region is the most seismically active in the European part of Russia. The relevance of the research carried out within the framework of state tasks for assessing the seismic safety of the region is beyond doubt. The potential level of seismic hazard of the Earth's crust blocks is an important indicator of assessing the seismic hazard level of the studied region. It makes it possible to identify the seismogenerating structures of the region and get closer to drawing up a detailed map of the zones of possible earthquake sources (PES). **The aim** of the study. Assessment of the level of geoseismic hazard of the crustal blocks of the studied region and identification of potential waiting areas for possible sources of catastrophic earthquakes in the historical perspective. **Research methods.** The main research methods are the analysis of the spatiotemporal distribution of seismicity over the instrumental observation period, the analysis of the catalog of historical earthquakes, studies of traces of paleoseismicity, as well as expert assessment of the level of geoseismic hazard of crustal blocks by a set of geoseismological indicators. These indicators are the thickness of the Earth's crust, the extent of disjunctive zones of the foundation and sedimentary cover, the presence of traces of paleoseismicity, the power of the seismoactive layer, seismic activity and b-parameter of the magnitude-frequency graph, the maximum marked (observed) magnitude, the period of the last activation and tectonic activity. **The results of the study.** As a result of the conducted research, a quantitative assessment of the seismic hazard of the territory of the north-eastern segment of the Eastern Caucasus was carried out for the first time. The conducted studies make it possible to identify seismogenerating structures, map (in conventional units) the potential level of geoseismic hazard of the studied territory and get closer to drawing up a detailed map of PES zones. It is established that the areas with the maximum values of the geoseismic hazard potential spatially coincide with the zones of possible sources of strong earthquakes having historical activity and are confined to the zone of intersection of the Subcaucasian deep faults with the main Caucasian structural element – the Agrakhan-Tbilisi-Levantine left-thrust zone of the 1st order.

Keywords: regional geotectonics, seismicity, paleoseismicity, modern seismicity, seismic activity, seismic hazard, magnitude, tectonic stresses.

Acknowledgements: *The article was prepared as part of the fulfillment of the state task of the IG DFIC RAS on the topic of research and development, Reg. number of RIOCTR 1021060808491-6-1.5.6.*

For citation: Magomedov R.A. Assessment of geoseismic hazard of the north-eastern segment of the Eastern Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2024. 14(1): 49-63. DOI: 10.46698/VNC.2024.24.44.004

Введение

Потенциальный уровень сейсмической опасности блоков земной коры является важнейшим показателем оценки степени сейсмической опасности исследуемого региона. Она позволяет приблизиться к составлению детальной карты зон возмож-

ных очагов землетрясений (ВОЗ).

За предыдущий этап исследований нами разработаны две методики по оценке геодинамического и сейсмотектонического потенциалов северо-восточного сегмента Восточного Кавказа. Продолжением проводимых исследований явилась разработка нового метода оценки уровня геосейсмической опасности на основе синтеза двух вышеупомянутых методик и с учетом известных методов [Нечаев и др., 1998; Рейснер и др., 1998, 2002; Рогожин и др., 2001, 2013, 2019; Заалишвили и др., 2011; Тишкин, 2006; Уломов, 2008; Заиканов и др., 2019; Стогний и др., 2022; Zaalishvili et al., 2011; Babeshko et al., 2021; Vlinova, 2019; Mammadli, 2022; Mammadli et al., 2023 и др.]. При этом стояла задача детально оконтурить зоны ВОЗ. С этой целью проведено дробное деление квазиоднородных геодинамических блоков (КОГБ) региона [Магомедов и др., 2021] (рис. 1).

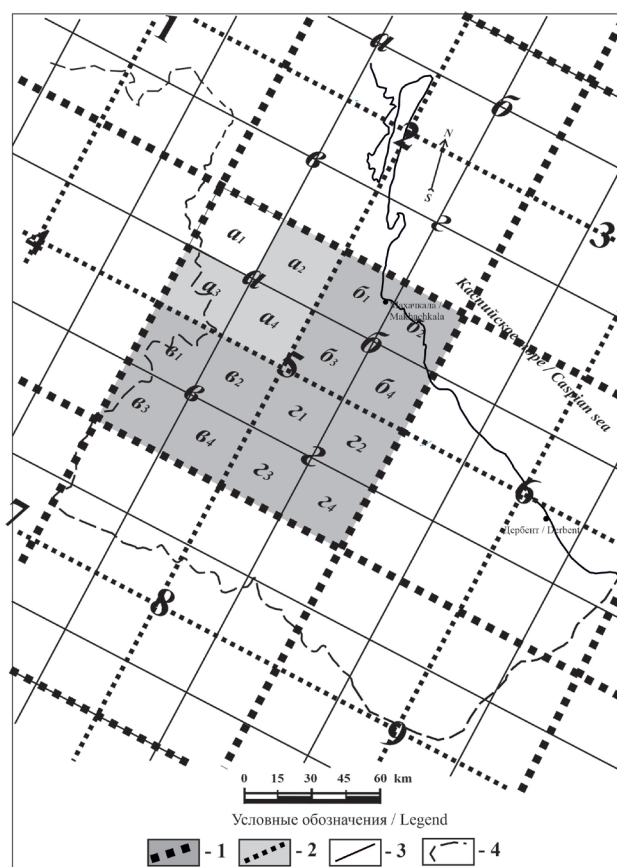


Рис. 1. Схема разбиения квазиоднородных геодинамических блоков северо-восточного сегмента Восточного Кавказа. /

Fig. 1. The scheme of division of quasi-homogeneous geodynamic blocks of the northeastern segment of the Eastern Caucasus.

Границы блоков местного порядка: 1 – первого (в середине блока – его номер), 2 – второго (в середине блока – его буквенное обозначение), 3 – третьего (наименьшего порядка, в середине блока – его буквенное обозначение с индексом), 4 – граница республики Дагестан. Полутонами выделен блок для наглядной иллюстрации дробного деления квазиоднородных геодинамических блоков /

The boundaries of the local order blocks: 1 – the first (in the middle of the block – its number), 2 – the second (in the middle of the block – its letter designation), 3 – the third (of the smallest order, in the middle of the block – its letter designation with an index), 4 – the border of the Republic of Dagestan.

A block is highlighted in halftones to illustrate the fractional division of quasi-homogeneous geodynamic blocks.

Под термином «*квазиоднородный*» здесь имеется в виду, «*однородный*» в геологическом, тектоническом и геодинамическом отношении объем геосреды. Блок наименьшего порядка по [Магомедов и др., 2021] разделили на 4 части с примерными поперечными размерами в 30 км каждая, в соответствии с проявлением предвестниковых аномалий высокочастотной части спектра излучений сейсмических волн, которые применяются при уточнении местоположения очага землетрясения на заключительной стадии развития сейсмического процесса. Выбранный способ деления (разбиения) гарантирует от завышения степени геосейсмической опасности рассматриваемого блока, которое может произойти за счёт влияния «потенциала» смежных блоков.

Под понятием «*геосейсмическая опасность*» здесь подразумевается уровень максимальной потенциальной энергии, заключенный в структуре (блоке) земной коры по состоянию на современный период его развития и определяемый на основе расчета геосейсмологических показателей в условных единицах. В зависимости от литолого-структурного строения, вещественного состава, геолого-геофизических условий и истории геологического развития того или иного участка земной коры, потенциальная энергия эпизодически преобразуется в кинетическую в процессе сейсмических событий в настоящем или в будущем.

Геосейсмологические показатели характеризуют уровень потенциальной энергии состоящей не только из той ее части, которая заключена в геологической структуре (блоке) на атомарном (вещественном) уровне, но и запасенной геотектонической (генетически обретенной в процессе длительного литогенеза и в процессе истории его геологического развития), а также – накопленной в результате современных геодинамических и геотектонических процессов. Каждый блок земной коры имеет свой уровень заключенной потенциальной энергии, зависящий от литолого-структурного строения, вещественного состава, геолого-геофизических условий и истории его геологического развития. Запасенная потенциальная энергия может проявиться в зависимости от разных причин: от снятия литостатического давления в результате экзогенных геологических процессов (эрозия, размыв и т.д.) с «расконсервацией» генетически обретенных и накопленных в современный период геонапряжений; в результате тектонических подвижек; в результате физико-химических процессов в самой геологической среде (фазовых переходов в минералах на большой глубине при больших значениях р-Т-условий со скачкообразным изменением упругих и прочностных характеристик) и т.д.

Материал и методы

В настоящей работе определен набор *геосейсмологических показателей*, характеризующий в наибольшей степени потенциальный уровень геосейсмической опасности КОГБ (сейсмический потенциал) на современном историческом этапе: а) мощность земной коры (m , км); протяженность дизъюнктивных зон фундамента и осадочного чехла (l , км); наличие следов палеосейсмичности (площадь распространения следов палеосейсмичности, s , км²) – *геологические критерии*, б) мощность сейсмоактивного слоя (h_s , км); сейсмическая активность (A_{10}); максимальная отмеченная (наблюденная) магнитуда (M_{max}); период последней активизации (τ) и тектоническая активность (a_t) – *сейсмологические критерии*. Потенциальный уровень геосейсмической опасности (G_s) блоков земной коры представляется как функция, зависящая от приведенных здесь показателей:

$$G_S = f(m, l, M_{\max}, a_b, \tau, s, h_S, A_{10}) \quad (1)$$

Приведенный набор геосейсмологических показателей о современном строении и состоянии земной коры является исчерпывающим, поскольку многие другие параметры (в частности, количественные характеристики тангенциальных тектонических напряжений, согласно существующей схеме разломно-блоковой структуры региона; скорость их современных движений; литолого-стратиграфическая характеристика с вещественным составом; определение предела прочности горных пород в конкретных геолого-геофизических условиях и т.д.) невозможно использовать из-за их неполноты.

Каждый показатель градуирован с условным весом, определенным экспертным путем (от 0 до 1) и учтен в суммарной оценке (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Экспертная градуировка геосейсмологических показателей
в условных единицах (от 0 до 1) /
Expert grading of geoseismological indicators in conventional units (from 0 to 1)**

№ п/п / numbers in order	Геосейсмологические показатели / Geoseismological indicators	Экспертная градуировка / Expert grading	Условные Единицы / Conventional units
1	2	3	4
1	Мощность земной коры, в км / <i>The thickness of the Earth's crust, in km</i>	максимальная мощность / Maximum thickness – 100%	1
		от 80 % до максимальной / from 80 % to the maximum	0,5
		ниже 80 % / below 80 %	0,1
2	Протяженность дизъюнктивных зон фундамента и осадочного чехла, в км. / <i>Length disjunctive zones of the foundation and sedimentary cover, in km.</i>	максимальная суммарная протяженность дизъюнктивных зон <i>фундамента</i> / maximum total length disjunctive zones <i>of the foundation</i>	1
		от 1/2 максимальной до максимальной / from 1/2 maximum to maximum	0,7
		менее 1/2 максимальной / less than 1/2 of the maximum	0,3
		максимальная протяженность дизъюнктивных зон в <i>осадочном чехле</i> / maximum length disjunctive zones <i>in the sedimentary cover</i>	0,5
		от 1/2 максимальной протяженности до максимальной / from 1/2 of the maximum length to the maximum	0,2
		менее 1/2 максимальной / less than 1/2 of the maximum	0,1
3	Максимальная отмеченная (наблюденная) магнитуда, M_{\max} . / <i>Maximum marked (observed) magnitude, M_{\max}</i>	сейсмическое событие в блоке с $M \geq 6.6$ / seismic event in the block with $M \geq 6.6$	1
		M_{\max} в пределах от 6 до 6.5 / M_{\max} in the range from 6 to 6.5	0,9
		-/- в пределах от 5.5 до 5.9 / in the range from 5.5 to 5.9	0,8
		-/- в пределах от 4.5 до 5.4 / in the range from 4.5 to 5.4	0,7
		-/- в пределах от 3.8 до 4.4 / in the range from 3.8 to 4.4	0,5
		-/- менее 3.8 / less than 3.8	0,1

<i>Продолжение таблицы 1</i>			
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
4	Тектоническая активность, a_t / <i>Tectonic activity, a_t</i>	современная активность (за последние 100 лет) / modern activity (over the last 100 years)	1
		историческая активность / historical activity	0,7
		четвертичная и новейшая активность / quaternary and recent activity	0,2+0,1
5	Период последней активизации, τ / <i>The period of the last activation, τ</i>	сильное сейсмическое событие в блоке XVIII-XIX вв. / a strong seismic event in the block of the XVIII-XIX centuries.	1
		XVII век / XVII century	0,5
		с VII по XIII века / from the VII to the XIII centuries	0,1
6	Наличие следов палеосейсмичности, S в км ² / <i>Presence of traces of paleoseismicity, S in км²</i>	максимальная площадь распространения следов палеосейсмичности / maximum distribution area traces of paleoseismicity	1
		от 1/2 максимальной площади до максимальной / from 1/2 of the maximum area to the maximum	0,5
		менее 1/2 максимальной площади / less than 1/2 of the maximum area	0,3
7	Мощность сейсмоактивного слоя, h в км / <i>The power of the seismoactive layer, h in км</i>	мощность сейсмоактивного слоя $\geq h_{max}$ / the thickness of the seismically active layer $\geq h_{max}$	1
		$0,75 h_{max} \leq h < h_{max}$	0,8
		$0,50 h_{max} \leq h < 0,75 h_{max}$	0,5
		$0,25 h_{max} \leq h < 0,50 h_{max}$	0,3
		$h < 0,25 h_{max}$	0,1
		При отсутствии очага / In the absence of a hearth	0
8	Сейсмическая активность, A_{10} / <i>Seismic activity, A_{10}</i>	максимальное значение / maximum value – 1,77	1
		в пределах от 1,50 до 1,77 / in the range from 1.50 to 1.77	0,9
		-//-/- от 1,00 до 1,49 / from 1.00 to 1.49	0,7
		-//-/- от 0,50 до 0,99 / from 0.50 to 0.99	0,5
		-//-/- от 0,30 до 0,49 / from 0.30 to 0.49	0,3
		-//-/- менее 0,30 / less than 0.30	0,1
		при отсутствии информации по блоку / if there is no information about the block	0

Вся информация сводится в итоговую таблицу, где отображается потенциальный уровень геосейсмической опасности каждого выделенного КОГБ (сейсмический потенциал) в условных единицах. При оценке уровня геосейсмической опасности приняты допущения:

1. Горизонтальные размеры блоков примерно одинаковые.

2. При оценке протяженности дизъюнктивных зон фундамента и осадочного чехла не учитываются границы квазиоднородных блоков (искусственные границы). Рассматривая границы блоков как области пространства и дизъюнктивные структуры, одновременно принадлежащие двум смежным блокам, мы сразу сталкиваемся с вопросом: где в этой области пространства провести линию, от которой следует считать протяженности дизъюнктивных зон и размеры блока? От этого в значительной мере зависят результаты последующих расчетов и их интерпретации. Поэтому принимаем допущение не учитывать искусственные границы.

3. Принимается, что блоки, на данный момент, изучены примерно с одинаковой полнотой.

При градуировке геосейсмологических показателей в условных единицах придерживались следующего регламента:

1. Выбор максимального значения показателя производился после расчета для всей исследуемой территории (т.е. после расчета показателя для всех квазиоднородных геодинамических блоков).

2. Показатель «*мощность земной коры*» определялся по карте мощности земной коры исследуемой территории и с привлечением данных глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и интерпретации гравиметрических материалов при их наличии.

3. Протяженность дизъюнктивных зон фундамента и осадочного чехла измерялась на геолого-тектонических картах соответствующего масштаба курвиметром.

4. *Максимальная отмеченная (наблюденная) магнитуда* определялась по результатам анализа общего каталога землетрясений Единой геофизической службы РАН (ЕГС РАН) с учетом сильных исторических землетрясений на исследуемой территории.

5. Для целей определения уровня геосейсмической опасности блоков и определения зон ВОЗ *современная и историческая активность* имеет наибольшее значение и условный (удельный) вес по сравнению с *четвертичной и новейшей активностью*.

6. *Период последней активизации* определялся по каталогу исторических землетрясений исследуемой территории и исторической летописи. Макросейсмические данные о сильных землетрясениях для кавказского региона имеются с VII века нашей эры. В доинструментальный период (VII-XIX вв.) имеются сведения о 18 землетрясениях, весьма существенно отличающихся по своей информативности [Левкович и др., 1977]. Несомненно, лишь то, что по описаниям они отражают последствия сильных и разрушительных землетрясений.

7. Показатель «*наличие следов палеосейсмичности*» определялся на основе анализа результатов публикаций по исследованию следов палеосейсмических событий. Производится наложение построенных карт и схем распространения следов палеосейсмических событий исследуемой территории на схему КОГБ с последующим определением их площади распространения для каждого блока. Максимальной площади распространения следов палеосейсмических событий присваивается условная единица – 1.

Исследователи Кавказа неоднократно отмечали признаки древних землетрясений в регионе [Тихомиров и др., 1947; Милановский, 1973; Геологическая изученность ..., 1989; Геология и нефтегазоносность..., 1959; Гаврилов, 2017 и др.].

Многие кавказские геологи, в том числе Андрусов Н.И., Шатский Н.С., Герасимов А.П., Успенская Н.Ю., Воссаяевич Н.Б., Брод И.О., Мирзоев Д.А., Пирбудагов В.М., Шарафутдинов Ф.Г., Шарафутдинов В.Ф., Магомедов Р.А. и многие другие в своих отчетах и рукописных работах приводят множество примеров нахождения следов палеосейсмичности в регионе. Например, Н.Ю. Успенской в своих отчетах впервые были описаны подводно-оползневые явления в фораминиферовых отложениях, на новых площадях в миатлинской свите (майкопский век – верхний олигоцен). Оценкой площадей распространения следов палеосейсмичности в процессе работы над своими диссертациями занимался Шарафутдинов В.Ф., который впервые составил карту распространения олистостромовых толщ и установил общие закономерности распространения олистостромов в палеоцен-эоценовых отложениях и клиноформных образований майкопа, которые образуют своеобразные горизонты, прослеживающиеся через всю территорию региона на 250-300 км вдоль простирания и на 30-40 км в направлении падения слоев. Следы палеосейсмических событий (сейсмиды) установлены в мезозойско-кайнозойских морских осадочных толщах Северного Кавказа [Гаврилов, 2017]. В пределах антиклинальных структур Сланцевого Дагестана нами отмечено широкое проявление признаков палеосейсмичности [Магомедов, 2017 и др.].

8. Показатель «*мощность сейсмоактивного слоя*» определялся по распределению гипоцентров ощутимых землетрясений по глубинам. Оно дает сведения о сейсмоактивном слое и его глубине залегания. Мощность сейсмоактивного слоя в блоке с одиночным и на одинаковом уровне очагами принимается как 5 км.

9. Значение сейсмической активности A_{10} для исследуемой территории вычислялось по известной формуле [Ризниченко, 1979 и др.; Арефьев и др., 1980]:

$$A_{10} = \frac{S_0 \cdot T_0}{S \cdot T} \cdot \frac{\sum_{K_{\min}}^{K_{\max}} 10^{\gamma(K-10)} \cdot N_K}{K_{\max} - K_{\min} + 1} \quad (2)$$

где γ – наклон графика повторяемости; S_0 – единица нормирования по площади ($S_0 = 1000 \text{ км}^2$); T_0 – единица времени ($T_0 = 1 \text{ год}$); S – площадь выбранных; T – период наблюдения землетрясений.

Для определения значения сейсмической активности каждого блока в условных единицах производится наложение построенной карты A_{10} исследуемой территории на схему КОГБ с последующим определением значения условного показателя для каждого блока. Определяется максимальное ее значение, которому присваивается – 1. Между максимальным и минимальным значениями производится дробное деление (в таблице приведен пример дробного деления).

Вся информация сводится в итоговую таблицу 2, где отображается потенциальный уровень геосейсмической опасности каждого выделенного КОГБ в условных единицах.

Таблица 2 / Table 2

Суммарная оценка уровня потенциала геосейсмической опасности блоков северо-восточного сегмента Восточного Кавказа в условных единицах / Summary assessment of the potential level of geoseismic hazard of the blocks of the north-eastern segment of the Eastern Caucasus in conventional units

Квазиоднородные геодинамические блоки (КОГБ) / Quasi-homogeneous geodynamic blocks (KGB)	Показатели потенциала геосейсмической опасности КОГБ (условные единицы) / Indicators of the potential of geoseismic hazard of the KGB (conventional units)										Суммарная оценка показателей, упр. ед. / Summary assessment of indicators, conl. ed.					
	мощность осадочной коры (m) / the thickness of the sedimentary cover and the earth's crust (m)	протяженность дивергентных зон фундамента и осадочного чехла (l) / extent of disjunctive zones of the foundation and sedimentary cover (l)	наличие признаков палеосейсмичности (s) / the presence of signs of paleoseismicity (s)	геотектоническая активность (a _t) / tectonic activity (a _t)	период последней активизации (τ) / the period of the last activation (τ)	максимальная отмеченная (наблюденная) магнитуда (M _{max}) / maximum marked (observed) magnitude (M _{max})	мощность сейсмоактивного слоя (h _s) / power of the seismically active layer (h _s)	сейсмическая активность (A ₁₀₀) / seismic activity (A ₁₀₀)	1	2	3	4				
1	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.8	0.4	0.4	0.4
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.4	0.5	0.4	0.4
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.4	0.5	1.2	1.0
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.0	1.3	1.2	1.2
2	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.5	0.5	0.9	0.9
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.0	1.3	1.2	0.9
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.2	1.3	1.1	1.3
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.0	1.0	1.3	1.4
3	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.4	0.4	0.6	0.5
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.4	0.4	0.4	0.4
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.8	0.5	1.0	1.1
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.5	0.5	1.3	0.5
4	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.0	1.4	1.2	1.7
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.4	2.4	2.1	4.2
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.4	1.5	0.4	0.8
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	2.4	4.3	2.0	2.7
5	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	4.4	4.6	4.0	3.3
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	3.7	2.5	4.4	2.6
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	3.0	2.9	5.1	4.6
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	3.0	2.9	2.4	3.5
6	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.4	1.0	1.8	2.7
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	2.9	2.3	3.8	3.2
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	2.5	2.5	3.3	2.0
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.4	2.0	0.8	0.8
7	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	2.7	2.7	2.1	2.5
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.8	0.8	0.8	0.8
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0.8	1.7	0.8	0.9
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	3.8	3.3	2.9	2.9
8	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	2.0	3.0	2.4	2.7
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.5	1.6	0.9	1.4
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	2.4	2.3	1.7	1.0
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	3.9	4.0	2.9	1.9
9	a _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	4.4	2.9	2.5	2.4
	b _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.0	1.8	0.4	1.0
	g _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.7	1.6	1.1	1.1
	z _{1-2,3-4}	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	0-0-0-0	1.7	1.6	1.1	1.1

Примечание: в начале столбца «суммарная оценка показателей», цифры 1, 2, 3, 4 обозначены индексы КОГБ наименьшего порядка. / Note: at the beginning of the column "total score of indicators", the digits 1, 2, 3, 4 denote the indices of the lowest-order KGB

Результаты и обсуждение

На основании результатов проведенных исследований составлена схема потенциального уровня геосейсмической опасности (рис. 2), которая позволяет идентифицировать активные, на современном этапе геологического развития региона, сейсмогенерирующие структуры и дать детальную картину распределения зон ВОЗ, т.е. выделить (выявить) потенциальные сейсмоопасные зоны (блоки), где высока вероятность свершения сильных землетрясений в исторической перспективе на исследуемой территории.

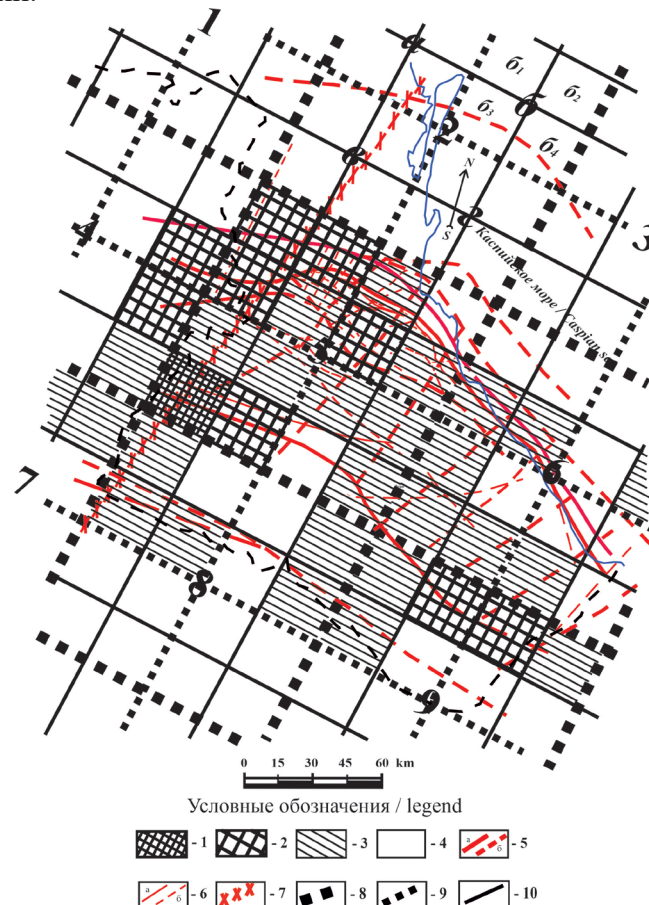


Рис. 2. Схема оценки потенциала геосейсмической опасности северо-восточного сегмента Восточного Кавказа /

Fig. 2. A scheme for assessing the potential of geoseismic hazard in the northeastern segment of the Eastern Caucasus

1 – блок, имеющий максимальное значение потенциала геосейсмической опасности;
 2 – зоны ожидания возможных очагов сильных землетрясений в исторической перспективе;
 3 – блоки, имеющие критический (превышающий 50 % барьер) уровень потенциала геосейсмической опасности; 4 – прочие блоки, имеющие потенциал геосейсмической опасности ниже критического; 5 – глубинные разломы (а – достоверные, б – предполагаемые); 6 – разломы осадочного чехла (а – достоверные, б – предполагаемые); 7 – Аграхано-Тбилиско-Левантийская левосдвиговая зона 1-го порядка.

Остальные обозначения приведены на рисунке 1 /

1 – a block having the maximum value of the potential of geoseismic danger; 2 – waiting zones for possible foci of strong earthquakes in the historical perspective; 3 – blocks having a critical (exceeding 50% barrier) level of potential geoseismic danger; 4 – other blocks having a potential geoseismic danger below critical; 5 – deep faults (a – reliable, b – assumed); 6 – faults of the sedimentary cover (a – reliable, b – assumed); 7 – Agrakhan-Tbilisi-Levantine left-thrust zone of the 1st order.

The remaining designations are shown in Figure 1

Результаты оценки показывают, что максимальное значение уровня потенциала геосейсмической опасности в условных единицах (5,1) имеет блок $5v_3$ (рис. 2), приуроченный к зоне пересечения субкавказских глубинных разломов с одним из главных кавказских структурных элементов – Аграхано-Тбилиско-Левантийской левосдвиговой зоной 1-го порядка. К этой же зоне примыкает и диагонально ориентированный Андийско-Сулакский разлом, который отделяет Сулакский выступ от Капчугайского грабена. Помимо отмеченного блока с высоким уровнем потенциала геосейсмической опасности выделяются блоки, входящие в *современную Дагестанскую зону ВОЗ*, выделенную при оценке геодинамического и сеймотектонического потенциалов [Магомедов и др., 2017], а также, приграничная с Чеченской республикой зона, контролируемая глубинными субкавказскими разломами. Последняя также входит в зону влияния отмеченного главного структурного элемента Кавказа. Все выделенные зоны отмечены высокой современной и исторической сейсмической активностью.

Уровень геосейсмической опасности (сейсмического потенциала) блока является величиной непостоянной, поскольку его показатели меняются в исторической и геологической перспективе.

Выводы

В результате проведенных исследований удалось закартировать в условных единицах потенциальный уровень геосейсмической опасности (сейсмического потенциала) исследуемой территории, и приблизиться к составлению более детальной карты зон ВОЗ.

Установлено, что области с максимальными значениями потенциала геосейсмической опасности пространственно совпадают с зонами возможных очагов сильных землетрясений, имеющими историческую активность, и приурочены к зоне пересечения субкавказских глубинных разломов с главным кавказским структурным элементом – Аграхано-Тбилиско-Левантийской левосдвиговой зоной 1-го порядка.

Проведенные исследования позволят сделать обоснованный выбор объектов и методов эффективных управляющих воздействий на геологические системы с целью минимизировать негативные последствия от воздействия потенциальных катастрофических геологических процессов природного характера и обеспечат рациональное использование природных ресурсов в условиях повышенной геодинамической и сейсмической активности.

Литература

1. Арефьев С.С., Асманов О.А., Дейнега А.Г., Мусаев М.А., Шебалин Н.В. Количественные характеристики сейсмичности Дагестана. // Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. Сейсмология, геология, геофизика. М.: Наука, – 1980. С. 10–17.
2. Гаврилов Ю.О. Отражение сейсмических палеособытий в мезозойско-кайнозойских терригенных толщах Северного Кавказа. // Литология и полезные ископаемые. – 2017. – № 1. – С. 3–24.
3. Геологическая изученность СССР. Дагестанская АССР. Том 13. Период 1971-1975. Вып. 1. М: Недра, – 1989. 504 с.
4. Геология и нефтегазоносность юга СССР. Дагестан. Вып. 4. Тр. КЮГЭ. Под ред. И.О. Брода. Ленинград: Гостоптехиздат, – 1959. 432 с.
5. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт. // Геология и геофизика Юга России. – 2011. – Т. 11. № 1. – С. 48–58.

6. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В., Сависько И.С. Индексы и индикаторы геоэкологической безопасности урбанизированных территорий. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 4. – С. 94–101.
7. Левкович Р.А., Магомедов А.М., Асманов О.А. К сейсмическому районированию Дагестанской АССР. // Сейсмический режим территории Дагестана. Сб. Ин-та геологии Даг. ФАН СССР. – 1977. – № 1. – С. 31–40.
8. Магомедов Р.А. Особенности связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой Восточного Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. № 1. – С. 69–80. DOI: 10.46698/VNC.2021.72.56.006.
9. Магомедов Р.А. Следы палеосейсмических событий в разрезах осадочного чехла Восточного Кавказа. // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Седьмое Всероссийское совещание. 18-22 сентября 2017 г., Москва. Научные материалы / В.А. Захаров, М.А. Рогов, Е.В. Щепетова (ред.). М.: ГИН РАН, – 2017. С. 119-122.
10. Магомедов Р.А., Мусаев М.А. Оценка сейсмоструктурного потенциала блоков Восточного Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. № 4. – С. 43–57. DOI: 10.46698/VNC.2021.71.60.004.
11. Милановский Е.Е., Короновский Н.В. Орогенный вулканизм и тектоника альпийского пояса Евразии. М.: Недра, – 1973. 279 с.
12. Нечаев Ю.В., Рейснер Г.И., Рогожин Е.А. и др. Геолого-геофизические и сейсмологические критерии потенциальной сейсмичности Западного Каспия. // Разведка и охрана недр. – 1998. – № 2. – С. 13–16.
13. Рейснер Г.И. и др. Типизация земной коры и сейсмический потенциал Сахалина. // Вулканология и сейсмология. – 1998. – № 4-5. – С. 103–111.
14. Рейснер Г.И., Рогожин Е.А. Прогнозирование сейсмического потенциала. // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников. Научно-практическая конференция. 26–27 июня 2001 г. Доклады и выступления. М.: Центр «Антистихия», – 2002. С. 236–241.
15. Ризниченко Ю.В. Сейсмическая активность территории СССР. М.: Наука, – 1979. 192 с.
16. Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Овсяченко А.Н. Оценка сейсмической опасности Северного Кавказа в детальном масштабе. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2013. – № 5. – С. 14–19.
17. Рогожин Е.А., Милуков В.К., Миронов А.П., Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н. Характеристики современных горизонтальных движений в зонах заметных землетрясений начала 21-го века в центральном секторе Большого Кавказа по данным GPS-наблюдений и их связь с глубинным строением земной коры. // Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы LI Тектонического совещания. Т. 2. / Отв. ред. К.Е. Дегтярев. М.: ГЕОС, – 2019. С. 173–178.
18. Рогожин Е.А., Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами. // Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики: Избр. Науч. Тр. / Под ред. акад. В.Н. Страхова. М.: ОИФЗ РАН, – 2001. С. 279–300.
19. Стогний В.В., Заалишвили В.Б., Пономарева Н.Л. Современная геодинамика и сейсмичность Северного Кавказа: проблемы мониторинга. // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Т. 12. № 2. – С. 34–52. DOI: 10.46698/VNC.2022.25.32.003.
20. Тихомиров В.В., Хаин В.Е. Подводные оползни и обвалы в третичных отложениях Северо-Восточного Азербайджана. // Докл. АН СССР. – 1947. – Т. 58. № 1. – С. 105–108.
21. Тишкин Б.М. Способ оценки геодинамического потенциала структур и использование его в геологических задачах. // Вестник КРАУНЦ, Серия «Науки о Земле». – 2006. – № 1. Вып. 7. – С. 138–152.

22. Уломов В.И. Оценка сейсмической опасности и актуализация инженерных решений. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – С. 16–21.
23. Artikaev F. F., Erteleva O. O., Tokmulina G. M. Correlation between the Points of Different Seismic Intensity Scales. // *Seismic Instruments*. – 2021. – Vol. 57(1). – pp. 75–87. DOI: 10.3103/s0747923921010035.
24. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. Fractal properties of block elements and a new universal modeling method. // *Doklady Physics*. – 2021. – Vol. 66. No. 8. – pp. 218–222. DOI: 10.1134/S1028335821080012.
25. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity region. // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. – 2019. – Vol. 19. – pp. 813–820.
26. Mammadli T.Ya. Determination of Seismogenic Zones for Analysis of Seismotectonic Activity of Deep Faults: Seismic Hazard Assessment for the Territory of Azerbaijan. // *Geotectonics*. – 2022. – Vol. 56. No. 2. – pp. 191–199.
27. Masi A., Chiauzzi L., Nicodemo G., Manfredi V. Correlations between macroseismic intensity estimations and ground motion measures of seismic events. // *Bulletin of Earthquake Engineering*. – 2020. DOI: 10.1007/s10518-019-00782-2.
28. Scholz C.H. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. // Cambridge University Press. Cambridge. 2019. – 493 p. DOI: 10.1017/9781316681473.
29. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. // *J. of Asian Earth Sciences*. – 2020. – Vol. 188. – pp. 1–18.
30. Zaalishvili V.B., Rogojin E.A. Assessment of Seismic Hazard of Territory on Basis of Modern Methods of Detailed Zoning and Seismic Microzonation. // *The Open Construction and Building Technology Journal*. – 2011. – Vol. 5. pp. 30–40.

References

1. Arefyev S.S., Asmanov O.A., Deinega A.G., Musaev M.A., Shebalin N.V. Quantitative characteristics of seismicity of Dagestan. Dagestan earthquake on May 14, 1970 *Seismology, geology, geophysics*. M.: Nauka, 1980. pp. 10–17.
2. Gavrilov Yu.O. Reflection of seismic paleozoic events in the Mesozoic-Cenozoic terrigenous strata of the North Caucasus. *Lithology and minerals*. 2017. No. I. pp. 3–24.
3. Geological study of the USSR. Dagestan ASSR. Vol. 13. The period 1971-1975. Issue I. Moscow. Nedra. 1989. 504 p.
4. Geology and oil and gas potential of the south of the USSR. Dagestan. Issue 4. Tr. KYUGE. Ed. by I.O. Brod. Leningrad. Gostoptehizdat. 1959. 432 p.
5. Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V., Gabaraev A.F. Assessment of the seismic hazard of the territory and the construction of probabilistic maps. *Geology and geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 48–58.
6. Zaikanov V.G., Minakova T.B., Buldakova E.V., Savisko I.S. Indices and indicators of geo-ecological safety of urbanized territories. *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 2019. No. 4. pp. 94–101.
7. Levkovich R.A., Magomedov A.M., Asmanov O.A. On seismic zoning of the Dagestan ASSR. The seismic regime of the territory of Dagestan. *Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan. FAN of the USSR*. 1977. No. 1. pp. 31–40.
8. Magomedov R.A. Features of the relationship between the spatial and temporal distribution of seismicity, the level of geodynamic potential of the blocks of the Earth's crust and the fault-block tectonics of the Eastern Caucasus. *Geology and Geophysics Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 69–80. DOI: 10.46698/VNC. 2021.72.56.006.
9. Magomedov R.A. Traces of paleoseismic events in sections of the sedimentary cover of the Eastern Caucasus. Jurassic system of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography.

7th All-Russian meeting. September 18–22, 2017, Moscow. Scientific materials. V.A. Zakharov, M.A. Rogov, E.V. Shchepetova (ed.). Moscow, GIN RAS. 2017. pp. 119–122.

10. Magomedov R.A., Musaev M.A. Assessment of the seismotectonic potential of the East Caucasus blocks. *Geology and geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 4. pp. 43–57. DOI: 10.46698/VNC.2021.71.60.004.

11. Milanovsky E.E., Koronovsky N.V. Orogenic volcanism and tectonics of the Alpine belt of Eurasia. Moscow. Nedra. 1973. 279 p.

12. Nechaev Yu.V., Reisner G.I., Rogozhin E.A. et al. Geological, geophysical and seismological criteria for the potential seismicity of the Zapannoe Caspian Sea. *Exploration and protection of the subsoil*. 1998. No. 2. pp. 13–16.

13. Reisner G.I. et al. Typification of the Earth's crust and the seismic potential of Sakhalin. *Volcanology and Seismology*. 1998. No. 4-5. C. 103–111.

14. Reisner G.I., Rogozhin E.A. Forecasting of seismic potential. Problems of forecasting emergencies and their sources. Scientific and practical conference. June 26-27, 2001 Reports and speeches. Moscow. Center Antistikhia. 2002. pp. 236–241.

15. Riznichenko Yu.V. Seismic activity of the territory of the USSR. Moscow. Nauka. 1979. 192 p.

16. Rogozhin E.A., Lutikov A.I., Ovsyuchenko A.N. Assessment of the seismic hazard of the North Caucasus on a detailed scale. *Earthquake-resistant construction. Construction Safety*. 2013. No. 5. pp. 14–19.

17. Rogozhin E.A., Milyukov V.K., Mironov A.P., Gorbatikov A.V., Ovsyuchenko A.N. Characteristics of modern horizontal movements in the zones of noticeable earthquakes of the early 21st century in the central sector of the Greater Caucasus according to GPS observations and their connection with the deep structure of the Earth's crust. In: *Problems of tectonics of continents and oceans. Materials of the LI Tectonic Meeting*. Vol. 2. / Ed. by K.E. Degtyarev. Moscow. GEOS. 2019. pp. 173–178.

18. Rogozhin E.A., Reisner G.I., Johanson L.I. Assessment of the seismic potential of the Greater Caucasus and the Apennines by independent methods. *Modern mathematical and geological models in problems of applied geophysics*. Ed. V.N. Strakhov. Moscow. OIF RAS. 2001. pp. 279–300.

19. Stogniy V.V., Zaalishvili V.B., Ponomareva N.L. Modern geodynamics and seismicity of the North Caucasus: monitoring problems. *Geology and geophysics of Russian South*. 2022. Vol. 12. No. 2. pp. 34–52. DOI: 10.46698/VNC.2022.25.32.003.

20. Tikhomirov V.V., Khain V.E. Underwater landslides and landfalls in the tertiary sediments of Northeastern Azerbaijan. *Doklady USSR Academy of Sciences*. 1947. Vol. 58. No. 1. pp. 105–108.

21. Tishkin B.M. A method for assessing the geodynamic potential of structures and its use in geological problems. *Herald of KRAUNTS. The Earth Sciences series*. 2006. No. 1. Issue 7. pp. 138–152.

22. Ulomov V.I. Assessment of seismic hazard and updating of engineering solutions. *Earthquake-resistant construction. Earthquake engineering. Safety of structures*. 2008. pp. 16–21.

23. Aptikaev F. F., Erteleva O. O., Tokmulina G. M. Correlation between the Points of Different Seismic Intensity Scales. *Seismic Instruments*. 2021. Vol. 57. Issue 1. pp. 75–87. DOI: 10.3103/s0747923921010035.

24. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. Fractal properties of block elements and a new universal modeling method. *Doklady Physics*. 2021. Vol. 66. No. 8. pp. 218–222. DOI: 10.1134/S1028335821080012.

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

26. Mammadli T.Ya. Determination of Seismogenic Zones for Analysis of Seismotectonic Activity of Deep Faults: Seismic Hazard Assessment for the Territory of Azerbaijan. ISSN 0016-8521 Geotectonics. 2022. Vol. 56. No.2. pp.191–199.

27. Masi A., Chiauzzi L., Nicodemo G., Manfredi V. Correlations between macroseismic intensity estimations and ground motion measures of seismic events. Bulletin of Earthquake Engineering. 2020. DOI: 10.1007/s10518-019-00782-2.

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

29. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., Mumladze T., Bonali F.L., Russo E., Kadirov F., Yetirmishli G., Kazimova S. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. J. of Asian Earth Sciences. 2020. Vol. 188. pp. 1–18.

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