

УДК 550.34

DOI: [10.46698/VNC.2021.42.74.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.42.74.005)

Оригинальная статья

Гянджинское землетрясение 1139 г.

С. Э. Казымова 

Национальная Академия Наук Азербайджана, Республиканский Центр
Сейсмологической Службы, Республика Азербайджан, AZ1001,
г. Баку, ул. Г. Джавида, 123, e-mail: sabina.k@mail.ru

Статья поступила: 16.01.2021, после рецензирования: 22.02.2021, принята к публикации: 05.03.2021

Резюме: Актуальность работы. В данной работе анализируется одно из крупнейших по количеству жертв (погибло около 230 тыс. человек) землетрясений в истории человечества, произошедшее 30 сентября 1139 г. в городе Гянджа (на юго-западе Азербайджана). Интенсивность данного землетрясения достигла 9 баллов. В статье приведены исторические данные, представленные в различных атласах и каталогах, рукописях и летописях. С тектонической точки зрения Гянджинское землетрясение произошло на стыке Гейча-Акеринской и Лок-Карабахской зоны Артвин-Карабахской мегазоны, которая охватывает северные хребты Малого Кавказа. **Цель работы.** С целью исследования сейсмичности и современной геодинамики территории Гянджинского очага был построен график повторяемости за последние 1500 лет и проанализированы механизмы 4-ох очагов землетрясений координаты которых совпадают с исследуемым историческим землетрясением. Вероятность повторения сильного Гянджинского землетрясения 1139 г. в ближайшие 800 лет составила 0,30. **Методы исследования.** Для вычисления механизмов очага был использован алгоритм по методу инверсии волновых форм, на основе которого были получены решения тензора момента и моментные магнитуды M_w для 4-х выбранных землетрясений произошедших 30 сентября 2012 г., 2 июля 2015 г. и 6 марта 2017 г. В процессе работы изначально были определены функции Грина, которые используются при инверсии наблюдаемых трехкомпонентных широкополосных сигналов (20-100 с) с последующим разложением на скалярный сейсмический момент M_0 и основные параметры ориентации пары сил – азимутальный угол, угол падения и угол скольжения. **Результаты работы.** Сопоставление простираения нодальных плоскостей с линиями разломов показал согласие первой нодальной плоскости с продольным Муровдагским взбросо-надвигом, и второй нодальной плоскости с поперечным Муровдаг-Зодским сдвигом. В итоге все вышесказанное указывает на то, что проанализированные современные Гянджинские землетрясения, точнее их очаговые зоны в геодинамическом отношении произошли под действием сжимающих напряжений ориентированных СВ-ЮЗ-ом направлении.

Ключевые слова: Гянджинское землетрясение, Халебское землетрясение, график повторяемости, механизмы очагов землетрясений, тектоническое строение, левосторонний сдвиг.

Для цитирования: Казымова С. Е. Уточнение гипоцентров землетрясений методом двойной разности. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 52 – 68. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.74.005.

DOI: [10.46698/VNC.2021.42.74.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.42.74.005)

Original paper

Ganja earthquake of 1139

S. E. Kazimova 

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center,
123 Guseyn Javid Str., Baku AZ1001, Azerbaijan, e-mail: sabina.k@mail.ru

Received: 16.02.2021, revised: 22.02.2021, accepted: 05.03.2021

Abstract. Relevance. This work analyzes one of the largest earthquakes in terms of the number of victims (about 230 thousand people died) in the history of mankind, which occurred on September 30, 1139 in the city of Ganja (in the south-west of Azerbaijan). The intensity of this earthquake reached 9 points. The article contains historical data presented in various atlases and catalogs, manuscripts and annals. From a tectonic point of view, the Ganja earthquake occurred at the junction of the Goycha-Akerin and Lok-Karabakh zones of the Artvin-Karabakh megazone, which covers the northern ridges of the Lesser Caucasus. **The aim.** In order to study the seismicity and modern geodynamics of the territory of the Ganja source, a recurrence graph was constructed for the last 1500 years. The mechanisms of four sources of earthquakes whose coordinates coincide with the studied historical earthquake were analyzed. The probability of a repeat for the strong Ganja earthquake of 1139 in the next 800 years was 0.30. **Research methods.** To calculate the focal mechanisms, an algorithm was used according to the waveform inversion method, on the basis of which the solutions of the moment tensor and moment magnitudes M_w were obtained for 4 selected earthquakes that occurred on September 30, 2012, July 2, 2015, and March 6, 2017. In the course of work, the Green's functions were initially determined, which are used for inversion of the observed three-component broadband signals (20-100 s) with subsequent decomposition into scalar seismic moment M_0 and the main parameters of the orientation of the pair of forces – azimuthal angle, angle of incidence and angle of grazing. **Results.** Comparison of the strike of the nodal planes with the fault lines showed the agreement of the first nodal plane with the longitudinal Murovdag upthrust fault, and the second nodal plane with the transverse Murovdag-Zod strike-slip fault. As a result, all of the above indicates that the analyzed modern Ganja earthquakes, or rather their focal zones in the geodynamic respect, occurred under the action of compressive stresses oriented NE-SW direction.

Keywords: Ganja earthquake, Khaleb earthquake, recurrence graph, mechanisms of earthquake sources, tectonic structure, left-lateral fault.

For citation: Kazimova S. E. Ganja earthquake of 1139. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2021. 11 (1): 52 – 68. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.74.005.

Введение

На протяжении многих лет территория Азербайджанской республики характеризовалась высокой сейсмической активностью. С тектонической точки зрения это связано с динамикой Кавказского региона, находящегося под влиянием Аравийской и Евразийской литосферных плит. Первые сведения о катастрофических ($M \geq 6$) землетрясениях которые происходили на территории Азербайджана известны с 427 г.

За исторический период на территории республики и сопредельных территориях происходили сильные и катастрофические землетрясения с магнитудой $M \geq 6$.

Обширная информация доинструментального периода вошла в различные атласы и каталоги, наиболее значительным из которых является «Каталог землетря-

сений Российской Империи» И. В. Мушкетова и А. П. Орлова, опубликованный в 1893 году. Впервые высказанные идеи о связи землетрясений с тектоническими нарушениями являются очевидным достоинством этих публикаций [Атлас землетрясений в СССР, 1962; Мушкетов и др., 1893].

Ряд оригинальных работ по исследованию сейсмичности отдельных регионов Азербайджана принадлежат Н. В. Малиновскому (1935, 1939, 1940), которым в хронологическом порядке описаны все ощутимые землетрясения на Кавказе; на основании всех имеющихся данных выделены сейсмические очаги, проявившие свою активность в последнее столетие [Малиновский, 1940].

Землетрясения на территории Азербайджана, происшедшие за период 1139-1950 гг. отражены в работе Е. И. Бюса «Сейсмические условия Закавказья» [Бюс, 1948]. Здесь же представлены области Закавказья, испытавшие сильные землетрясения по наблюдениям до 1951 г. В пределах Азербайджана выделены восьмибалльные зоны Шемахи, Гянджи, Абшерона, южной границы (Ардебиль), а также семи балльные зоны Закаталы, Шеки, Шуша, Сальян, Ленкорань.

Наиболее значимые землетрясения, унесшие многочисленные человеческие жизни, это: Маштагинское произошедшее в 1842 г, землетрясения произошедшие в Шамахинском районе в 1192, 1828, 1868, 1872, 1902 гг. Кроме того, нужно отметить, что и в Каспийском регионе неоднократно происходили сильные землетрясения [Бабаханов, 2017; Кондорская и др., 1977, Михалевский, 1926] нужно отметить, что именно после Шамахинского землетрясения 1902 г., на территории Азербайджана была установлена первая сейсмическая станция, положившая начало инструментальному периоду.

В данной статье мы бы хотели затронуть событие, сыгравшее не маловажную роль в истории нашей страны, унесшее тысячи жизней и превратившее в руины г. Гянджу.

Наряду с Тебризом, Ардебилем, Марагой, Нахчываном, Дербендом, Кабала, Шамахи и Баку, Гянджа является одним из древнейших городов Азербайджана. С тектонической точки зрения Гянджа располагается на юго-западе страны, в пределах Гянджинско-Газахской низменности Малого Кавказа (рис. 1).



Рис. 1. Гянджинская крепость второй половины XVI века (<https://m.zerkalo.az/ukradennye-vrata-rayal/>). / Fig. 1. Gyandzha fortress of the second half of the XVI century (<https://m.zerkalo.az/ukradennye-vrata-rayal/>).

Материалы первоисточников

Данные первоисточников об этом разрушительном землетрясении собраны во-едино из большого количества различных источников, с соответствующими ссылками на них. Гянджинское землетрясение стало первым сейсмическим событием в Азербайджане, последствия которого изучались на достаточно высоком уровне. В эпицентре интенсивность сотрясения достигала, по современным оценкам, 9 баллов. Летописные данные, приведенные в Каталоге землетрясений Российской Империи [Мушкетов и др., 1893] отмечают сильное землетрясение в Гяндже (Елисаветполь), произошедшее в 1139 г.: «При густом тумане гора Алгарак (ныне Кяпяз) обрушилась и заполнила долину; у подножия образовалось озеро».

Данное землетрясение было подробно описано в работах мыслителя и богослова Мхитар Гоша, арабского историка Ибн ал-Асира, историка Киракос Гандзакеци [Ибн ал-Асир, 1940].

Город Гянджа быстро развивался во время правления династии Эльденизов в Азербайджане (1136-1225 гг.). В XII веке Гянджа стала одним из самых великолепных городов Ближнего Востока.

Благодаря такому величию и известности, высокий уровень экономической, социальной и культурной жизни был описан арабским историком Ибн аль-Асиром (1160-1223 гг.) и иранским историком-ученым Рашид ад-Дином (1247-1318 гг.). В своих летописях он писал, как величайший из городов Арана город Гянджа, подвергся ужасному землетрясению в первой половине XII века, а точнее 30 сентября 1139 года. Ибн аль-Асир писал: «В 534 г. хиджры (1139 г.) произошло землетрясение в Гяндже, и других провинциях Арана. Однако самое сильное землетрясение произошло в Гяндже. Было разрушено много домов, погибло бесчисленное количество людей. Сообщается, что число погибших составило 230 000 человек».

Историк Киракос Гандзакеци (1200-1272 гг.) писал: «Произошло страшное землетрясение, город Гянджа обрушился, его здания обрушились на население, землетрясение также взорвало гору Кяпаз и закрыло долину между горами, в результате чего образовалась Гейгель». По его словам, после землетрясения грузинский царь Димитрий I (1125-1156 гг.) напал на город и забрал городские ворота своей страны в качестве военной добычи. Это были ворота, построенные мастером Ибрагимом в 1063 году во время правления правителя Шаддади Шавура I (1049-1067 гг.).

Атабей Гара Сунгур был правителем Арана во время землетрясения. Его резиденция находилась в Гяндже. Когда произошло землетрясение, Гара Сунгура не было в Арране. Источник пишет: «Атабей Гара Сунгур хотел помочь сельджукскому шаху, но, узнав о сильном землетрясении в Гяндже, вернулся в свою столицу, Гянджу». В то время в Гяндже продолжались небольшие землетрясения. Вся семья Гарасонгура погибла в результате Гянджинского землетрясения.

Интересен тот факт, что за год до Гянджинского землетрясения, 11 октября 1138 г. в г. Алеппо (Сирия) произошло одно из самых сильных землетрясений (более 230 тыс. жертв), магнитуда которого была равна 8-ми. Землетрясение было настолько мощным, что его ощутили на территории Ирана, Турции и Азербайджана. Учитывая, то что территория Сирии в тектоническом плане расположена в пределах Аравийской плиты, можно предположить, что оба этих землетрясения связаны с горизонтальными движениями данной плиты в СВ направлении.

Гора Кяпаз, наивысшая точка Кяпазского хребта, высота которой составляет 3066 м над уровнем моря. Горный хребет Кяпаз являясь частью Муровдагского



Рис. 2. Эпицентр Гянджинского землетрясения, произошедшего 30 сентября 1139 г. с магнитудой $M=6,7$. /
 Fig. 2. Epicenter of the Gyaandzhaearthquake occurred on September 30, 1139 with a magnitude of $M = 6.7$.

хребта простирается с СЗ направления на 34 км. Во время Гянджинского землетрясения гора обрушилась и обломки горы перекрыли течение реки Ахсу в нескольких местах, в результате чего образовалось семь озер, являющиеся национальным достоянием республики. Самое значительное из этих озер – Гёйгёль (Голубое озеро) расположено в центре дуги (рис. 3).

Уроженец г. Гянджи, крупнейший поэт своей современности Абу Мухаммед Ильяс ибн Юсуф, известный во всем мире как Низами Гянджеви в своей поэме «Искендер-наме» написанная между 1194 и 1202 годами, так описал Гянджинское землетрясение:

*Вся Земля сотряслась, туч метнулась гряда.
 Сотрясенье Земли унесло города.
 Так взъерошился дол, так всклокочились горы,
 Что покрыл тёмный прах всей лазури просторы.
 Закрутилась Земля. Иль пришёл её срок?
 Стал её кувыркать разыгравшийся рок.
 Вострубил Серафим, гор низвергнувши глыбы,
 И напуганный Бык отшатнулся от Рыбы.
 Все оковы небес разомкнуться могли.
 Свёл разгул сотрясенья суставы Земли.
 Заградил в её жилах текучие воды,*

*Гор поранил хребет, в них закрыл он проходы.
Он Юсуфов сражал. Не пугаясь потерь.
Синей краской окрасил он каждую дверь.
Все глаза он подвёл тяжкой скорби сурьюю,
Целый мир он одел безнадежности тьмою.
Сжал он бедную Землю в такие тиски,
Что огромные скалы разбил на куски.
Всё сломал он стекло. И под небом угрюмым
Сотни выступов стен наземь рухнули с шумом.
Тьма сокровищ пропала. Но помним, дрожа:
В эту ночь на субботу исчезла Гянджа.*

(отрывок из поэмы «Искендер-наме») [Низами Гянджеви, 2007]



Рис. 3. Горный хребет Кяпаз – а; озеро Гёйгёл (Голубое озеро) – б. /
Fig. 3. Mountain range Куараз – а; Göygöl Lake (Blue Lake) – б.

Приведенные выше данные позволяют утверждать, что землетрясение в Гяндже произошло 30 сентября 1139 г с интенсивностью 9 баллов. В результате катастрофы погибло около 230 тыс. человек, в общей сложности пострадало 300 тыс. человек, разрушено более 1000 домов (рис. 2).

По данным приведенные в работах [Айвазишвили, Папалашвили, 1973; Мхитар, 1960; Ergin, 1971; Султанова, 1959; Бюс, 1948] координаты землетрясения составили $40,30$ и $46,30 \pm 0,2$, глубина 15 км ($7-30$), магнитуда $6,8 \pm 0,7$. Так как в районе горы Алгарак происходят сильные обвалы, образуется озеро Гейгель. В связи с этим эпицентр данного землетрясения отнесен к району озера, и в ряде работ данное землетрясение называют гейгельским. Учитывая обвалы, оползни и количество жертв сила в эпицентре оценена на 9 ± 1 баллов. Отметим, что по данным источника [Guidoboni et al., 1994; Guidoboni, Comastri, 2004] в 1122 г. в той же эпицентральной зоне произошло землетрясение с магнитудой $4,7 \pm 1,0$ и интенсивностью 8 баллов.



Рис. 4а. Схема тектонического районирования юго-западной части Азербайджана [Кенгерли и др., 2012]. Зоны Артвин-Карабахской мега зоны: LQ – Лок-Карабахская; GH – Гейча-Акеринская; Qf – Гафанская; Kb – Кяльбаджарская; AA – Нижне-Аразская /

Fig. 4a. Scheme of tectonic zoning of the southwestern part of Azerbaijan [Kengerli et al., 2012]. Zones of the Artvin-Karabakh mega zone: LQ – Lok-Karabakh; GH – Goycha-Hakary; Qf – Gafan; Kb – Kalbajar; AA – Lower Araz

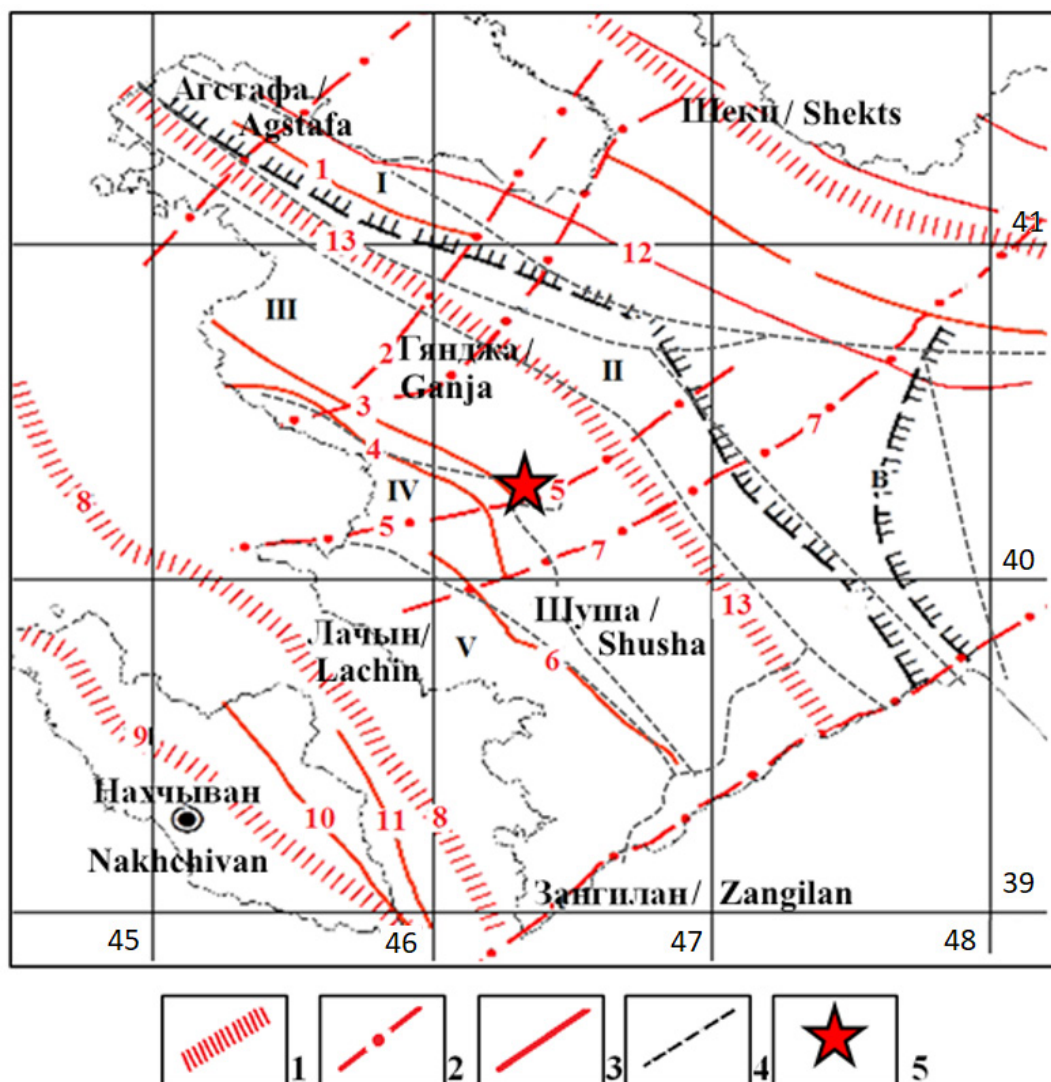


Рис. 4б. Тектоническая карта юго-западной части Азербайджана

(Сост. по материалам Агабекова М. Г., Алиханова Э. Н., Ахмедбейли Ф. С., Гасанова И. С., Кенгерли Т. Н., Шихалибейли Э. Ш., Хаина В. Е.).

Условные обозначения: 1 – краевые разломы; 2 – погребенные разломы; 3 – сбросовые разломы; 4 – тектонические структуры; 5 – эпицентр гянджинского землетрясения. Разломы: 1-Куринский; 2 – Шамкир-Алибадский; 3 – Муровдагский; 4 – Карабахский; 5-Муровдаг-Зодский; 6 – Лачин-Башилибельский; 7 – Хачинчайский; 8 – Уступ-Гирратахский; 9 – Нахичеванский; 10 – Аразский Ордубадский; 11 – Дебаклинский; 12-Эрикдар-Боздаг-Падарсий; 13-Предмалокавказский / Fig. 4b. Tectonic map of the southwestern part of Azerbaijan (Compiled on the basis of materials of Agabekov M. G., Alikhanov E. N., Akhmedbeyli F. S., Hasanov I. S., Kengerli T. N., Shikhalibeyli E. Sh., Khain V. E.).

Legend: 1 – edge faults; 2 – buried faults; 3 – thrust faults; 4 – tectonic structures; 5 – the epicenter of the Gyandzha earthquake. Faults: 1 – Kura; 2 – Shamkir-Aliabad; 3 – Murovdag; 4 – Karabakh; 5 – Murovdag-Zodsky; 6 – Lachin-Baslibel; 7 – Khachinchai; 8 – Ustup-Girratakh; 9 – Nakhichevan; 10 – Araz Ordubad; 11 – Debaklinsky; 12 – Erikdar-Bozdag-Padarsiy; 13 – Pre-Lesser Caucasian

Тектоническое строение региона

С тектонической точки зрения Гянджинское землетрясение произошло на стыке Гейча-Акеринской и Лок-Карабахской зоны Артвин-Карабахской мегазоны, которая охватывает северные хребты Малого Кавказа и является южным прибортовым

структурным элементом Южно-Кавказской микроплиты, развивавшимся на альпийском этапе тектогенеза в геодинамическом режиме вулканической островной дуги (рис. 4а, б) [Геология Азербайджана, 2005].

Как видно на рисунке 4б эпицентр данного землетрясения располагается на пересечении продольного Муровдагского и поперечного Муровдаг-Зодского разломов. Муровдагский разлом является крайней северо-западной границей граница Гекча-Акеринской офиолитовой и островной дуги Лок-Карабахских зон, с перерывом протягивающийся с долины р. Чорох (Турция) к южным окраинам Ахалкалакского нагорья и далее на восток непрерывно до бассейна р. Тертер. Здесь с посредством поперечных Тертерчай и Хачинчайских разломов смещен к юго-западу и переходит на южный склон Карабахского хребта (Карабахского надвига).

Муровдаг-Зодский разлом представляет собой систему поперечно ориентированных разломов протягивающихся с северо-восточного склона г. Муровдаг в ЮВ направлении по левому берегу р. Тертер через среднее течение рр. Мейданчай и Левчай, далее переходя пределы Зодского перевала в ЮЗ направлении в сторону Арпачая. В северо-восточное направление разлома скрыто под четвертичными отложениями Среднекуринской впадины. По существу разлом является западным уступом или флангом, протяженной рифтогенной структуры, созданный Арпа-Самурским поперечным транскавказским линеаментом.

График повторяемости и механизмы очага Гянджинских землетрясений

Сведения о параметрах очагов землетрясений, содержащихся в различных каталогах, а также в отчетах РЦСС НАНА, систематизированы и сведены в единый каталог региона, куда были включены землетрясения доинструментального периода (с 427 по 1902 гг.) [Аллахвердиева, 2014; Kazimova, 2020]. Уровни представительности землетрясений Азербайджана были в 20-30-е годы 20 века – $MLH \geq 4,5$ или $K \geq 12$; 1951-1970-е годы – $MLH \geq 4,0$ или $K \geq 11$; 1971-2002 – $MLH \geq 3,5$ или $K \geq 10$. Представительность минимальной магнитуды в данной статье оценивалась графическим способом. При построении графика повторяемости землетрясений в широком диапазоне магнитуд, в левой ее части наблюдается отклонение точек $N(M)$ от линии ожидания. Это объясняется пропуском части землетрясений определенной магнитуды при обработке наблюдений, что связано с чувствительности системы регистрирующих сейсмических станций. Представительной считается магнитуда ($M=3,0$), следующая с права от первого левостороннего уклонения точки на графике повторяемости.

Для оценки зависимости между локальной магнитудой и количеством землетрясений, произошедших в пределах исследуемого региона ($\varphi=39,90^\circ-40,60^\circ$; $\lambda=45,80^\circ-47,00^\circ$) нами был использован Закон Гутенберга – Рихтера, который гласит, что магнитуды землетрясений распределяются экспоненциально:

$$\log N = a - bM$$

где M – это магнитуда землетрясения, N – количество землетрясений за 1 год, a и b – положительные параметры, указывающие уровень и характер сейсмичности в рассматриваемом районе [Gutenberg, Richter, 1944]. Константа b обычно равняется 1,0 для сейсмически активных регионов. Это означает, что для каждого события с магнитудой 4,0 обычно приходится 10 землетрясений с магнитудой 3,0 и 100 – с

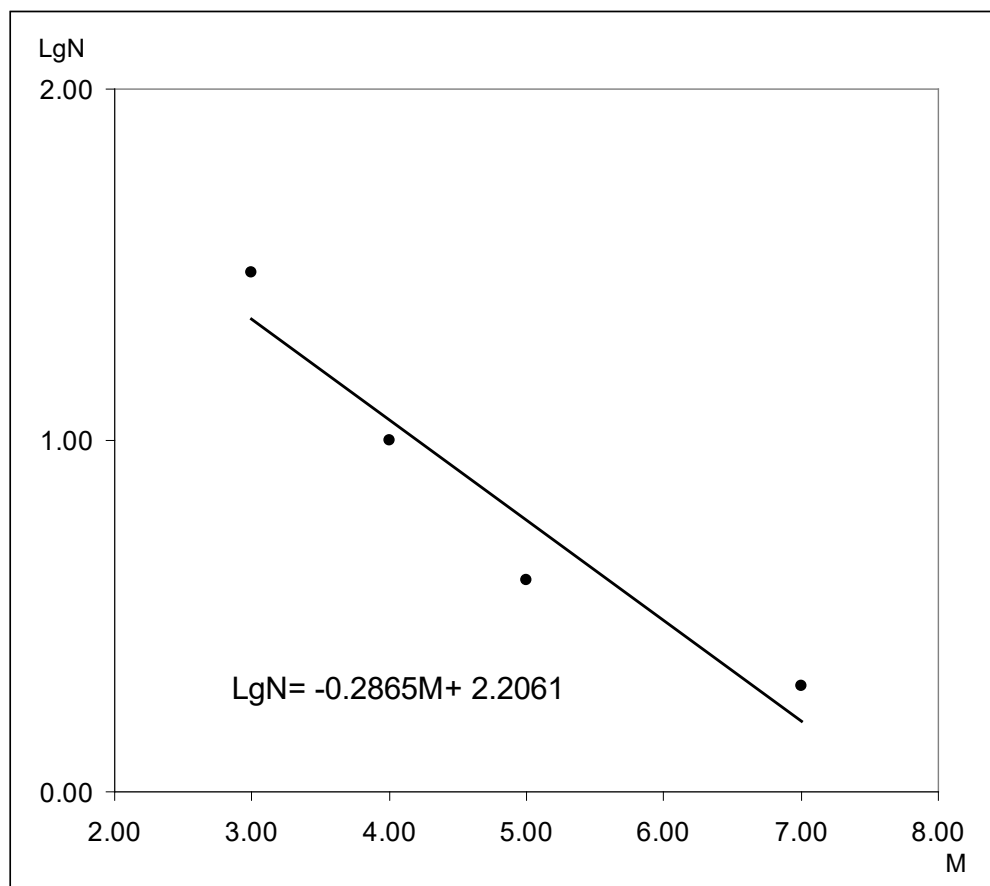


Рис. 5. График повторяемости землетрясений исследуемого региона за последние 1500 лет. /
Fig. 5. Graph of earthquake recurrence in the region under study for the last 1500 years.

магнитудой 2,0.

На рисунке 5 представлен график повторяемости исследуемого региона, полученный за последние 1500 лет. Таким образом, если за один год с $m_l=3,0$ произойдет 1000 землетрясений, то в пределах этого же района в течение одного года произойдет 300 землетрясений с $m_l=4,0$, а с $m_l=5,0$ приблизительно 100 событий. По Кавказу наклон угла повторяемости равен $-0,45$. Для Гянджинского региона значение наклона угла повторяемости составило $-0,28$. Это возможно лишь при аномально низких повторяемостях слабых и проявлении более сильных землетрясений, что и выражается в низком значении наклона графика повторяемости.

Учитывая выше сказанное можно отметить, что вероятность повторения сильного Гянджинского землетрясения 1139 г. в ближайшие 800 лет составила 0,30.

Особенностью сильных землетрясений, происходивших на территории Азербайджана в исторический период, является их коровая природа. Очаги землетрясений в континентальной части находятся, главным образом, в пределах глубин 10-15 км, могут доходить до 20 км. В пределах акватория гипоцентры землетрясений, как правило, располагаются более глубоко, в пределах глубин 30-35 км, распространяясь на нижние разделы коры. Этим во многом объясняется сейсмический эффект от этих землетрясений на поверхности земли.

Для определения механизма очага Гянджинского землетрясения произошедшего в 1139 г. в доинструментальный период был использован закон подобия очагов землетрясений [Coşkun et al. 2017; Coşkun, 2015; Stich et al., 2005; Fukushima et al.,

Таблица 1 / Table 1

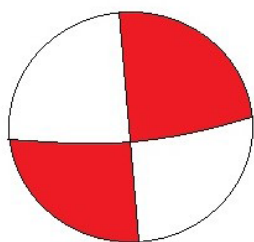
Параметры землетрясений, произошедших в Гянджинском регионе за период 2000-2020 гг. с магнитудой $m_l > 3,0$. / Parameters of the earthquakes occurred in the Gyandzha region for the period 2000-2020 with a magnitude $m_l > 3.0$

<i>Год / Year</i>	<i>Месяц / Month</i>	<i>День / Day</i>	<i>Время / Time</i>	<i>Широта / Latitude</i>	<i>Долгота / Longitude</i>	<i>Глубина / Depth</i>	<i>Локальная магнитуда / Local Magnitude</i>
2012	9	30	05-14-52.20	40.37	46.39	12	3,85
2012	9	30	05-18-27.05	40.36	46.38	12	3,61
2015	7	02	12-27-30.30	40.35	46.31	10	3,01
2017	3	06	06-24-00.67	40.24	46.28	10	3,73
Гянджинское землетрясение / Ganja earthquake							
1139	9	30	-	40.30	46.30	15	6,7

1989]. Учитывая тот факт, что координаты эпицентра данного землетрясения по данным исторических летописей приблизительно равны: широта $-40,30$ и долгота $-46,30$, а глубина очага составила 15 км, нами было выбрано 4 землетрясения произошедшие в пределах данного очага за период 2000-2020 гг. (табл. 1) [Yetirmishli et al., 2017; Telesca et al., 2017].

Для вычисления механизмов очага был использован алгоритм по методу инверсии волновых форм – Time-Domain Moment Tensor INVerse Code (TDMTINVC) [Dreger, 2002; Етирмишли и др., 2019]. На основе данного метода мы получили решения тензора момента и моментные магнитуды M_w для 4-ох выбранных землетрясений, произошедших 30 сентября 2012 г., 2 июля 2015 г. и 6 марта 2017 г. (рис. 6-9). В процессе работы изначально были определены функции Грина, которые используются при инверсии наблюдаемых трехкомпонентных широкополосных сигналов (20-100 с) с последующим разложением на скалярный сейсмический момент M_0 и основные параметры ориентации пары сил – азимутальный угол, угол падения и угол скольжения. В процессе обработки были использованы волновые записи, полученные на цифровых станциях с эпицентральным расстоянием от 20 до 350 км. Решениям тензора моментов присваивался коэффициент качества, зависящий от количества станций в инверсии и степени соответствия синтетических и наблюдаемых данных. Кроме того, были переопределены глубины очагов.

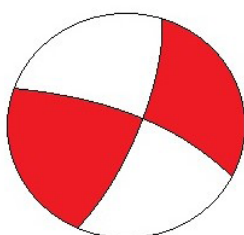
Анализ механизмов очага землетрясений произошедших 30 сентября 2012 г. с магнитудой $m_l=3,9$, 30 сентября 2012 г. с магнитудой $m_l=3,6$ и 2 июля 2015 г. с $m_l=3,0$ характеризуются близгоризонтальными сжимающими и растягивающими напряжениями. Тип движения по обеим крутым ($DP_{1,2}=70-88^\circ$) плоскостям – сдвиг. Сопоставление простирания нодальных плоскостей с тектонической картой разломов на рисунке 10 показывает согласие с линиями системы разломов левостороннего Муровдаг-Зодского поперечного разлома.



30.09.2012 t=05:14, M=3.9 Mw= 3.6 Ganja
40.370 46.390 12.000

Рис. 6. Механизм очага Гянджинского землетрясения, произошедшего 30 сентября 2012 г. с магнитудой ml=3,9. /

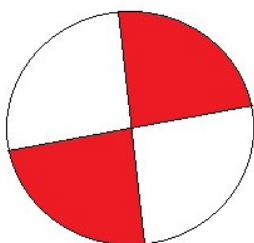
Fig. 6. Focal mechanism of the Gyandzha earthquake occurred on September 30, 2012 with a magnitude ml = 3.9.



30.09.2012 t=05:18, M=3.6, Ganja
40.370 46.380 12.000

Рис. 7. Механизм очага Гянджинского землетрясения, произошедшего 30 сентября 2012 г. с магнитудой ml=3,6. /

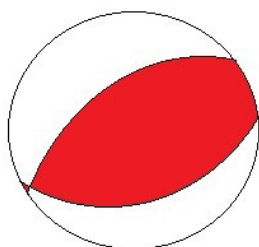
Fig. 7. Focal mechanism of the Gyandzha earthquake occurred on September 30, 2012 with a magnitude ml = 3.6.



02.07.2015 t=12:27, M=3.0, Ganja
40.350 46.310 10.000

Рис. 8. Механизм очага Гянджинского землетрясения, произошедшего 2 июля 2015 г. с магнитудой ml=3,0. /

Fig. 8. Focal mechanism of the Gyandzha earthquake occurred on July 2, 2015 with a magnitude ml = 3.0.



06.03.2017 t=06:24, M=3.7, Ganja
40.240 46.280 10.000

Рис. 9. Механизм очага Гянджинского землетрясения, произошедшего 6 марта 2017 г. с магнитудой ml=3,7. /

Fig. 9. Focal mechanism of the Gyandzha earthquake occurred on March 6, 2017 with a magnitude ml = 3.7.

Таблица 2 / Table 2

Параметры механизмов очага землетрясений, произошедших в Гянджинском регионе за период 2000-2020 с магнитудой $m_l > 3,0$ / Parameters of the focal mechanisms of earthquakes occurred in the Gyandzha region for the period 2000-2020 with a magnitude $m_l > 3.0$

Дата / Date	Широта / Latitude	Долгота / Longitude	Strk	Dp	Slip	Strk	Dp	Slip	Ml	Глубина Н (км) / Depth H (km)
2012.09.30	40.37	46.39	356.7	86.3	-18.4	88.0	71.6	-176.1	3,9	12
2012.09.30	40.37	46.38	24.3	80.4	15.3	291.7	74.9	170.1	3,6	12
2015.07.02	40.35	46.31	83.2	89.0	179.5	173.2	89.5	0.96	3,0	10
2017.03.06	40.24	46.28	73.7	26.8	109.9	231.5	64.9	80.2	3,7	10

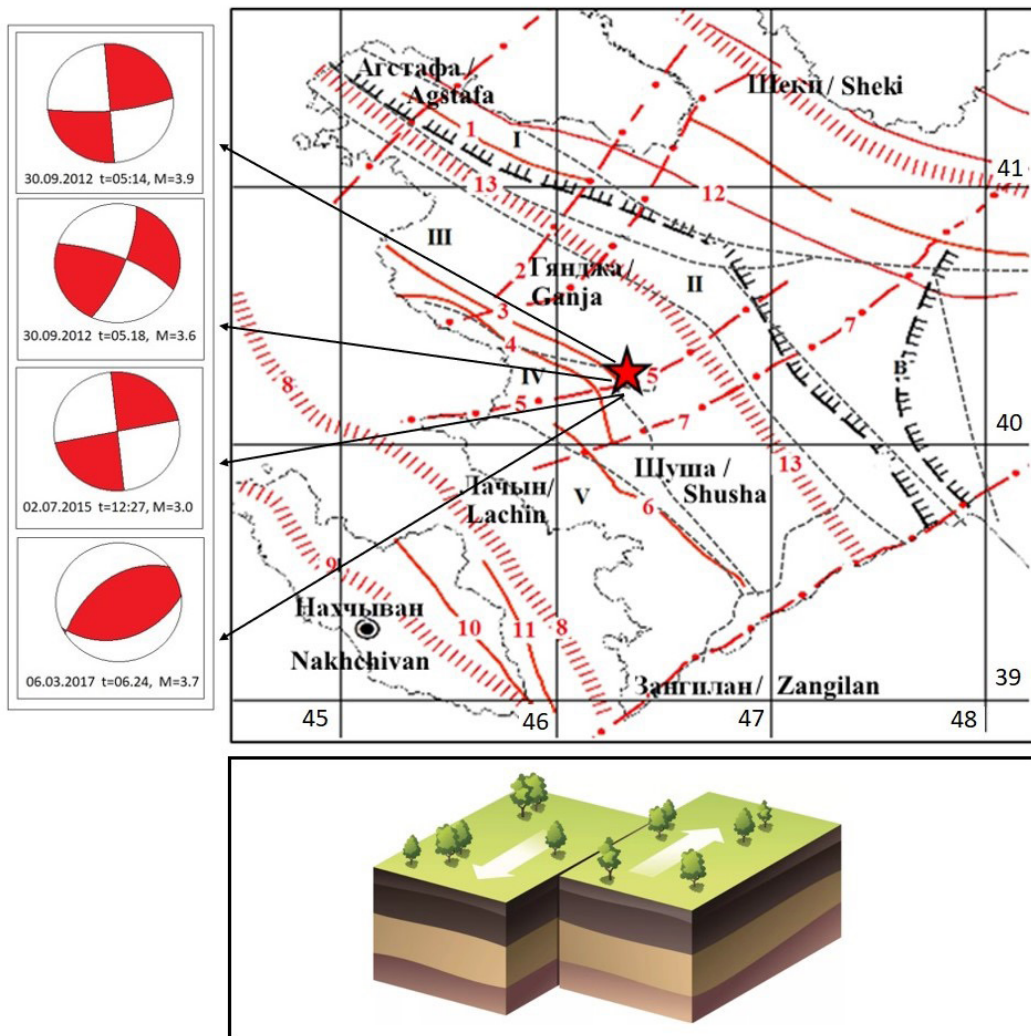


Рис. 10. Тип подвижки – левосторонний сдвиг. /
Fig. 10. Type of the adjustment movement – left-lateral fault.

Выводы

Анализ исторического катастрофического Гянджинского землетрясения произошедшего 30 сентября 1139 г. показал, что землетрясение произошло под действием сжимающих напряжений.

Основываясь на законе подобия очагов землетрясений, а также учитывая тот факт, что координаты эпицентра Гянджинского землетрясения приблизительно равны: широта – 40,30 и долгота – 46,30, а глубина очага составила 15 км, нами было выбрано 4 землетрясения произошедшие в пределах данного очага за период 2000-2020 гг. Таким образом, был установлен тип подвижки левосторонний сдвиг, соответствующий линиям системы разломов левостороннего Муровдаг-Зодского поперечного разлома. Ось сжатия была ориентирована в СВ-ЮЗ-ом направлении, а ось растяжения в СЗ-ЮВ направлении. Для землетрясения, произошедшего 6 марта 2017 г. с магнитудой $m_l=3,7$ был установлен тип подвижки по первой плоскости – надвиг, по второй плоскости – взброс с элементами левостороннего сдвига соответствующий динамике продольного Муровдагского взбросо-надвига. Глубина очага колеблется в пределах 10-12 км. Моментная магнитуда для землетрясений, произошедших 30 сентября составила $M_w=3,6-3,4$, для землетрясения 2 июля 2015 г. $M_w=2,7$ для землетрясения 6 марта 2017 г. $M_w=3,4$.

Анализ графика повторяемости показал, что вероятность повторения сильного Гянджинского землетрясения 1139 г. в ближайшие 800 лет составила 0,30.

Литература

1. Айвазишвили И. В., Папалашвили В. Г. К вопросу сейсмического районирования территории Кавказа. // Труды Инст. Геофизики., АН ГССР. – 1973. – 29 с.
2. Аллахвердиева З. Г. Сейсмическая опасность города Гянджи. // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – Т. 4. № 1. – С. 3-7. DOI: 10.23671/VNC. 2014.1.55401
3. Атлас землетрясений в СССР (1911–1957). – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 337.
4. Бабаханов А. Э. Power Bi как инструмент для ГИС-анализа стихийных бедствий на территории Азербайджана. // Интернаука. – 2017. – № 14. – С. 32-36.
5. Бюс Е. И. Сейсмические условия Закавказья. Ч. 1, Хронология землетрясений в Закавказье. – Тбилиси: изд-во АН Груз. ССР, 1948. – 304 с.
6. Геология Азербайджана: В 7-ми т. Т. IV. Тектоника. / Под ред. В. Е. Хаина и Ак. А. Ализаде. – Баку: Nafta-Press, 2005. – 505 с.
7. Гусейнов Р. Сирийские источники XII-XIII вв. об Азербайджане. – Баку: Изд. АН АзССР, 1960.
8. Етирмишли Г. Д., Казымова С. Э., Казымов И. Э. Расчет тензора сейсмического момента землетрясений Азербайджана за период 2012-2015 гг. // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. № 7. – С. 103-115.
9. Ибн ал-Асир Тарих-ал-камиль. О победе султана Махмуда над курджами. / Перевод П. К. Жузе. Текст воспроизведен по изданию: Материалы по истории Азербайджана из Тарих-ал-камиль (полного свода истории) Ибн-ал-Асира. – Баку: АзФан, 1940. – 138 с.
10. Кенгерли Т. Н., Ахмедбейли Ф. С., Исмаилзаде А. Дж. Карта тектоногеодинамического районирования территории Азербайджанской Республики, 1:750000. Национальный атлас Азербайджана. – Баку: НАНА Институт геологии и геофизики, 2012.

11. Кондорская Н. В., Шебалин Н. В., Хроменецкая Е. А. Новый каталог сильных землетрясений в СССР с древних времен до 1975 года. – М.: Наука, 1977. – 535 с.
12. Малиновский Н. В. Материалы по сейсмическому изучению Азерб. ССР. – Баку: Изд-во Азерб. ФАН СССР, 1940. – С. 10.
13. Михалевский А. А. Землетрясения на Кавказе и их связь с дислокацией края. – Баку: Изв. АГУ. Отд. Естествознания и медицины, 1926. – С. 151-157.
14. Мушкетов И. В., Орлов А. П. Каталог землетрясений Российской Империи. Зап. РГО. – СПб.: Типография Императорской академии наук, 1893. – 583 с.
15. Мхитар Гоги. Албанская хроника. – Баку: Изд. АН АзССР, 1960.
16. Низами Гянджеви. Искендер-наме. – Баку: Изд-во «Чашиоглу», 2007. – 396 с.
17. Султанова З. З. Землетрясения Азербайджана. – Баку: «Гянджлик», 1959. – 89 с.
18. Coşkun Z. Moment Tensor Inversion of Earthquakes in Bartın and Surrounding Cities of Western Black Sea Region. // American Geophysical Union, Fall Meeting. – 2015.
19. Coşkun Z., Yamamoto Y., Kalkan E. E., Pinar A., Kalafat D., Takahashi N., Citak S. Focal Mechanisms in the Sea of Marmara Derived from First Motion Polarities of OBS and Nearby Land Stations. // 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria. – 2017. – p. 6833.
20. Dreger D. S. Time-Domain Moment Tensor INVerseCode (TDMT_INV). // University of California, Berkeley Seismological Laboratory. – 2002. – pp. 18-28.
21. Ergin K. A. Catalogue of Earthquakes of Turkey and Surrounding Area. – Istanbul. – 1971.
22. Fukushima T., Suetsugu D., Nakanishi I., Yamada I. Moment tensor inversion for near earthquakes using long-period digital seismograms. // J. Phys. Earth. – 1989. – Vol. 37. – pp. 1-29.
23. Guidoboni E., Comastri A., Traina G. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to 10th Century. // Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol., Storia Geofis. Ambiente, Bologna, Italy. – 1994.
24. Guidoboni E., Comastri A. Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area From the 11th to the 15th Century. // Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol., Storia Geofis. Ambiente, Bologna, Italy, in press. – 2004.
25. Gutenberg B., Richter C. F. Frequency of Earthquakes in California. // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1944. – Vol. 34. – pp. 185-188.
26. Kazimova S. E. Redefinition of Earthquake Hypocenters by the Double Difference Method. // *Geology and Geophysics of Russian South*. – 2020. – Vol. 10 (4). – pp. 41-51. DOI: 10.46698/VNC. 2020.36.81.003.
27. Stich D., Batll J., Maci R., Teves-Costa P., Morales J. Moment tensor inversion with single-component historical seismograms: The 1909 Benavente (Portugal) and Lambesc (France) earthquakes. // *Geophys. J. Int.* – 2005. – Vol. 162. – pp. 850-858.
28. Yetirmishli G. J., Kazimova S. E., Ismailova S. S., Contemporary seismogeodynamic situation of Azerbaijan. // *Seismoprognois observations in the territory of Azerbaijan*. – 2017. – Vol. 14. No. 1. – pp. 36-41.
29. Telesca L., Kadirov F., Yetirmishli G. J., Safarov R., Babayev G., Ismailova S. S. Statistical analysis of the 2003-2016 seismicity of Azerbaijan and surrounding areas. // *Journal of Seismology*. – 2017. – Vol. 21. – pp. 1467-1485.

References

1. Aivazishvili I. V., Papalashvili V. G. The question of seismic zoning of the Caucasus. In: *Proceedings of Institute of Geophysics, Academy of Sciences of the Georgian SSR*. 1973. 29 p. (In Russ.)

2. Allahverdieva Z. G. Seismic hazard of Ganja city. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2014. Vol. 4 (1). pp. 3-7. 10.23671/VNC. 2014.1.55401 (in Russ.).
3. Atlas of earthquakes in the USSR (1911-1957). Moscow. Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1962. p. 337. (In Russ.)
4. Babakhanov A. E. Power Bi as a tool for GIS analysis of natural disasters in Azerbaijan. *Internauka.*, 2017. No. 14. pp. 32-36. (In Russ.)
5. Byus E. I. Seismic conditions of Transcaucasia. Part 1, Chronology of earthquakes in the Caucasus. Tbilisi, Publishing House of Academy of Sciences Gruz. SSR, 1948. 304 p. (In Russ.)
6. Geology of Azerbaijan: In 7 volumes. Vol. IV. Tectonics. Ed. V. E. Khain and Ak. A. Alizadeh. Baku, Nafta-Press, 2005. 505 p. (In Russ.)
7. Guseinov R. Syrian sources of XII-XIII centuries about Azerbaijan. Baku, AS AzSSR, 1960. (In Russ.)
8. Yetirmishli G. D., Kazymova S. E., Kazimov I. E. Calculation of the seismic moment tensor of earthquakes in Azerbaijan for the period 2012-2015. *Geology and Geophysics*, 2019. Vol. 60. No. 7. pp. 103-115. (In Russ.)
9. Ibn al-Athir Tarikh-al-Kamil. About the victory of Sultan Mahmud over the Kurj. Materials on the history of Azerbaijan from Tarikh-al-Kamil (complete collection of history) Ibn-al-Athir. Baku, AzFan, 1940. 138 p. (In Russ.)
10. Kengerli T. N., Akhmedbeili F. S., Ismailzade A. Dzh. Map of tectonogeodynamic zoning of the territory of the Republic of Azerbaijan, 1: 750,000. National Atlas of Azerbaijan. Baku, ANAS Institute of Geology and Geophysics, 2012. (In Russ.)
11. Kondorskaya N. V., Shebalin N. V., Khromenetskaya E. A. New catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times to 1975. Moscow, Nauka, 1977. 535 p. (In Russ.)
12. Malinovsky N. V. Materials on seismic study of Azerb. SSR. Baku, Azerb Publishing House. FAN USSR, 1940. P. 10. (In Russ.)
13. Mikhalevsky A. A. Earthquakes in the Caucasus and their relationship with the dislocation of the region. Baku, Izv. ASU. Dept. Natural Science and Medicine, 1926. pp. 151-157. (In Russ.)
14. Mushketov I. V., Orlov A. P. Catalog of earthquakes of the Russian Empire. Western Russian Geographical Society. Saint-Petersburg. Printing house of the Imperial Academy of Sciences, 1893. 583 p. (In Russ.)
15. Mkhitar Gogi. Albanian Chronicle. Baku, AS AzSSR, 1960. (In Russ.)
16. Nizami Ganjavi. Iskender-name. Baku. "Chashioglu" publishing house, 2007. 396 p. (In Russ.)
17. Sultanova Z. Z. Earthquakes in Azerbaijan. Baku, "Gyandzhlik", 1959. 89 p. (In Russ.)
18. Coşkun Z. Moment Tensor Inversion of Earthquakes in Bartın and Surrounding Cities of Western Black Sea Region. American Geophysical Union, Fall Meeting, 2015.
19. Coşkun Z., Yamamoto Y., Kalkan E. E., Pinar A., Kalafat D., Takahashi N., Citak S. Focal Mechanisms in the Sea of Marmara Derived from First Motion Polarities of OBS and Nearby Land Stations. 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria. 2017. p. 6833.
20. Dreger D. S. Time-Domain Moment Tensor INVerseCode (TDMT_INV). University of California, Berkeley Seismological Laboratory, 2002. pp. 18-28.
21. Ergin K. A. Catalogue of Earthquakes of Turkey and Surrounding Area. Istanbul. 1971.
22. Fukushima T., Suetsugu D., Nakanishi I., Yamada I. Moment tensor inversion for near earthquakes using long-period digital seismograms. *J. Phys. Earth*, 1989. Vol. 37. pp. 1-29.
23. Guidoboni E., Comastri A., Traina G. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to 10th Century. *Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol., Storia Geofis. Ambiente*, Bologna, Italy. 1994.

24. Guidoboni E., Comastri A. Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area From the 11th to the 15th Century. Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol., Storia Geofis. Ambiente, Bologna, Italy, in press. 2004.

25. Gutenberg B., Richter C.F. Frequency of Earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 1944. Vol. 34. pp. 185-188.

26. Kazimova S.E. Redefinition of Earthquake Hypocenters by the Double Difference Method. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10 (4). pp. 41-51. DOI: 10.46698/VNC.2020.36.81.003.

27. Stich D., Batll J., Maci R., Teves-Costa P., Morales J. Moment tensor inversion with single-component historical seismograms: The 1909 Benavente (Portugal) and Lambesc (France) earthquakes. *Geophys. J. Int.*, 2005. Vol. 162. pp. 850-858.

28. Yetirmishli G.J., Kazimova S.E., Ismailova S.S. Contemporary seismogeodynamic situation of Azerbaijan. *Seismoprognosis observations in the territory of Azerbaijan*. 2017. Vol. 14. No. 1. pp. 36-41.

29. Telesca L., Kadirov F., Yetirmishli G.J., Safarov R., Babayev G., Ismailova S.S. Statistical analysis of the 2003-2016 seismicity of Azerbaijan and surrounding areas. *Journal of Seismology*, 2017. Vol. 21. pp. 1467-1485.