

УДК 550.348 (479.25)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРМЕНИИ и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2021 году

Г.Р. Абгарян¹, С.С. Маргарян¹, Г.В. Саргсян¹, Н.В. Петрова²

¹ГНКО «Региональная служба сейсмической защиты» МВД Республики Армения,
г. Ереван, Армения, ovash@yandex.ru

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия, npetrova@gsras.ru

Аннотация. Приведен обзор сейсмичности на территории Армении и сопредельных стран за 2021 г. В каталог землетрясений включены 2629 землетрясений с $M_L=0.1-5.2$ ($K_p=3.0-13.4$). Непосредственно в пределах Республики Армения наибольший уровень сейсмической активности, как и ранее, зафиксирован на севере, в очаговой зоне 10-балльного Спитакского землетрясения 1988 г. с $MLV=6.9$. Наклон графика повторяемости γ на территории «Армения» за 2021 г., равный $\gamma=-0.51$, немного выше долгосрочного значения $\gamma=-0.49$ для территории Армении и сопредельных стран за период 1993–2017 гг. Выделенная в 2021 г. на рассматриваемой территории сейсмическая энергия ($\Sigma E=3.4 \cdot 10^{13}$ Дж) примерно равна таковой в 2019 г. ($\Sigma E=3.48 \cdot 10^{13}$ Дж), но на полтора порядка ниже, чем в 2020 г. ($\Sigma E=9.07 \cdot 10^{14}$ Дж). Собраны макросейсмические сведения о 40 землетрясениях, ощущавшихся на территории Армении. Описаны шесть из них, ощущавшихся с интенсивностью 4 и более баллов. Определены параметры механизмов очагов 24 землетрясений исследуемой территории, большинство из них – сдвиги и взбросо-сдвиги.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмограф, каталог, землетрясение, Армения, сейсмическая активность, очаговая зона.

Для цитирования: Абгарян Г.Р., Маргарян С.С., Саргсян Г.В., Петрова Н.В. Сейсмичность Армении и прилегающих территорий в 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.05> EDN: VMAGWP

Введение. В статье представлены результаты сейсмического мониторинга в 2021 г. территории «Армения» в границах $\varphi=38.0-41.5^\circ\text{N}$, $\lambda=42.5-47.4^\circ\text{E}$. Мониторинг осуществлялся сетью сейсмических станций Региональной службы сейсмической защиты МВД Республики Армения (далее RSSP) [Приложение 1]. Обработка данных проводилась в двух сейсмологических центрах Армении, расположенных в Ереване и Гюмри. После обмена информацией между этими центрами составлялись сводные сейсмологические бюллетени по Кавказу, ежемесячный сейсмологический бюллетень. Составленный по этим данным каталог из 2629 землетрясений с $M_L=0.1-5.2$, $K_{\text{расч}}=3.0-13.4$ за 2021 г. [Приложение 2], включающий землетрясения Республики Армения и прилегающих территорий, использовался при анализе сейсмичности указанной территории и написании данной статьи.

Сеть сейсмических станций Республики Армения в 2021 г. состояла из 15 цифровых и одной аналоговой сейсмической станции. По сравнению с ее состоянием в конце 2020 г. [1], число станций сократилось на три: были закрыты цифровые станции «Капан» (KAP1), «Каратак» (KRTK) и «Ванк» (VANK) [Приложение 1]. На рис. 1 приведены расположение сейсмических станций на территории Республики Армения и обеспечиваемая ими магнитудная представительность M_{min} в 2021 г. Как показали расчеты, на представительность регистрации землетрясений указанной территории закрытие трех станций мало повлияло, кроме территории Нагорного Карабаха, где из-за закрытия в октябре 2020 г. станции «Адрут» многие слабые землетрясения перешли в разряд «неклассных» (ошибка определения координат более 50 км).

Методика определения основных параметров землетрясений не изменилась, в основе всех используемых программ лежит метод засечек. При определении первичных данных для станций типа GURALP использована программа DIMAS [3]. Для более сильных событий к обработке землетрясений привлекались сведения Геофизической службы РАН (MOS), региональной сети Грузии (TIF), Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США (NEIC), Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра (CSEM), национальной сети Университета Тегерана (PEES) в Иране и Кандилийской обсерватории научно-исследовательского института по изучению землетрясений (KOERI) в Турции. Эти сведения особенно важны при локализации землетрясений юга Республики Армения, проводимой совместно с данными армянской сети. Обработка землетрясений проводилась, в основном, машинным способом с помощью программы НУРО-71 [4], в ряде случаев обработка сильных землетрясений производилась вручную. Классификация землетрясений выполнена в локальных магнитудах M_L :

$$M_L = \log_{10}(A/T) + 2.56 \{ \log_{10}(\text{dist}) \} + 0.67. \quad (1)$$

Замеры производились в поперечной S -волне: A – максимальная амплитуда (в μm); T – преобладающий период в измеряемой волне (сек); $dist$ – расстояние от станции до источника в км. Эта формула заложена в программах IRIS и DIMAS для обработки близких землетрясений.

Все энергетические классы $K_{\text{расч}}$ получены из магнитуд M_L по формуле Т. Г. Раутиан:

$$K_{\text{расч}} = 4 + 1.8 \cdot M_L \quad [5]. \quad (2)$$

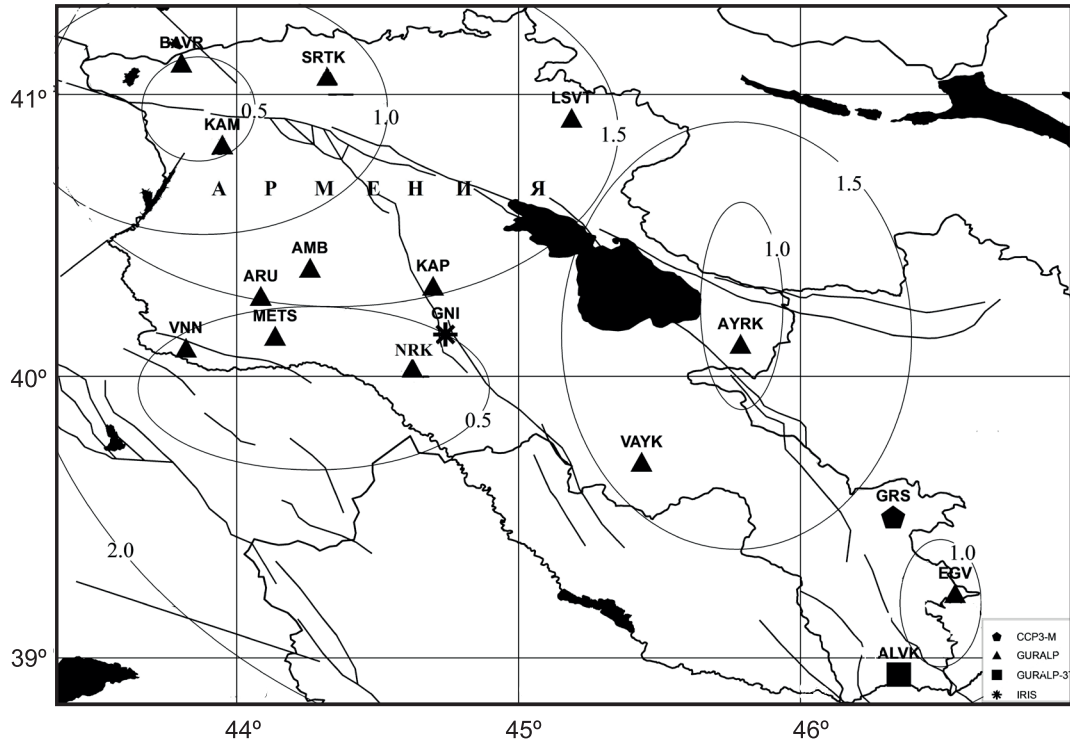


Рис. 1. Положение сейсмических станций Армении в 2021 г. и обеспечиваемая ими магнитудная представительность M_{min} на фоне карты-схемы разломов территории Республики Армения и сопредельных стран по А.А. Габриеляну [2]

Анализ инструментальных данных. Общее число землетрясений Кавказа, зарегистрированных сетью сейсмологических наблюдений RSSP в 2021 г. – около $N=4000$. Но в каталог землетрясений непосредственно по территории «Армения» за 2021 г. включено $N=2629$ землетрясений, что в 1.6 раза больше, чем в каталоге за 2020 г. Ежемесячные числа N землетрясений в 2021 г. и значения ежемесячно высвобождаемой суммарной сейсмической энергии ΣE (Дж), рассчитанные как сумма энергий отдельных землетрясений $E=10^{K_{\text{расч}}}$ за каждый месяц, показаны на рис. 2. Всего за 2021 г. высвобождено $\Sigma E=3.4 \cdot 10^{13}$ Дж сейсмической энергии, т.е. почти столько же, что и в 2019 г. ($\Sigma E=3.48 \cdot 10^{13}$ Дж), но на полтора порядка ниже, чем в 2020 г. ($\Sigma E=9.07 \cdot 10^{14}$ Дж). Наибольшее число землетрясений приходится на август ($N=388$) и декабрь ($N=350$) (табл. 1, рис. 2), когда произошли два из четырех сильнейших землетрясений на рассматриваемой территории: 16 августа с $M_L=4.5$, $M_{w_{\text{GCMT}}}=4.8$ в Спитакской очаговой зоне и 5 декабря с $M_L=4.5$, $M_{w_{\text{GCMT}}}=5.0$ в Турции. Оба события сопровождались многочисленными афтершоками. Два других события из этой четверки, Шоржинское 5 февраля в 15^h36^m с $M_L=4.7$ ($M_{w_{\text{GCMT}}}=5.2$) и Ереванское 13 февраля в 11^h29^m с $M_L=4.7$ ($M_{w_{\text{GCMT}}}=4.9$), вызвали в феврале в совокупности меньший всплеск числа землетрясений ($N=301$). При этом максимальное количество сейсмической энергии выделилось в декабре (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Ежемесячные количества землетрясений N и высвобожденной энергии ΣE в 2021 г.

Месяц №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	182	301	197	149	204	177	197	388	154	190	139	350
$\Sigma E, 10^{12}$ Дж	0.66	6.2	0.77	0.06	0.029	0.26	0.07	1.5	0.23	0.5	0.33	23.34

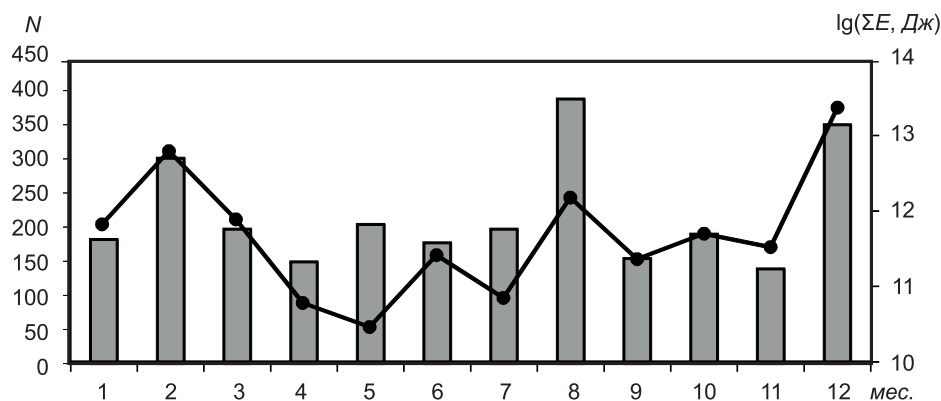


Рис. 2. Ежемесячные значения количества землетрясений N и суммарной высвобожденной сейсмической энергии ΣE , Дж в 2021 г. Гистограмма – N , график – $\lg(\Sigma E)$

В табл. 2 приведено распределение землетрясений по энергетическим классам в 2021 г. и, для сравнения, долговременные среднегодовые значения $N_{\text{ср}}$, рассчитанные за период 1993–2017 гг. Как видно из таблицы, в 2021 г. число землетрясений небольших энергетических классов ($K_p=4-8$) значительно превышало долговременные среднегодовые значения, а при $K_p=11-13$, наоборот, было несколько ниже.

Таблица 2. Распределение по расчетным энергетическим классам $K_{\text{расч}}$ числа землетрясений в 2021 г. N_{2021} и среднегодовых значений $N_{\text{ср}}$ за период 1993–2017 гг.

	$K_{\text{расч}}$												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17
N_{2021}	55	505	867	581	403	133	66	11	6	1	–	–	–
$N_{\text{ср} 1993-2017}$	2.6	13.8	77.4	217.4	203.5	157.9	65.3	19.4	8.6	1.8	0.4	0.08	0.04

На основе данных каталога в [Приложение 2] и табл. 2 построен график повторяемости землетрясений за 2021 г. (рис. 3 а), согласно которому абсолютное значение наклона графика в 2021 г., $\gamma = -0.51$, немного выше долгосрочного $\gamma = -0.49$ за 1993–2017 гг. (рис. 3 б).

$$\lg N = -0.51 K_p + 6.75, R^2 = 0.98, \quad (3)$$

где R^2 – коэффициент детерминации. При этом в 2021 г. излом графика повторяемости приходился на представительный энергетический класс $K_{\text{расч}} = 8$, тогда как за период с 1993 по 2017 гг. представительными были землетрясения с $K_p = 9$ и выше.

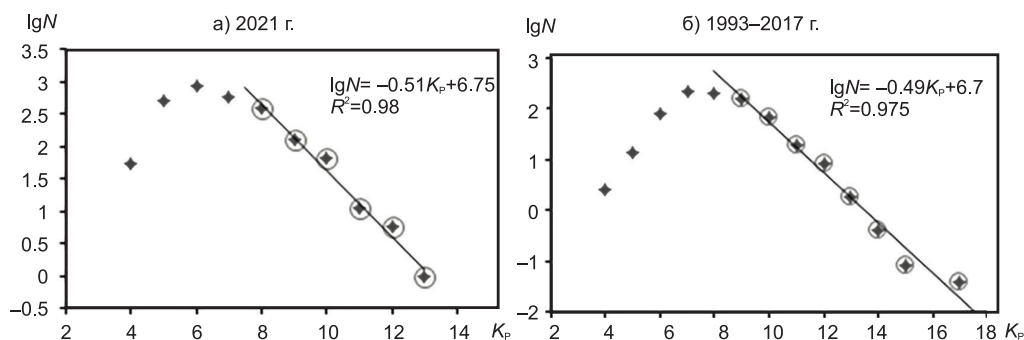


Рис. 3. Графики повторяемости землетрясений на территории «Армения» за 2021 г. (а) и среднегодовых значений $N_{\text{ср}}$ за 1993–2017 гг. (б); кружками обведены представительные данные

В 2021 г. территория Республики Армения и сопредельных стран была довольно сейсмоактивна. Сработали почти все сейсмоактивные зоны. Пространственное распределение эпицентров землетрясений на территории Армении и сопредельных стран показано на рис. 4.

Наиболее высокая сейсмическая активность отмечается на северо-западе Республики, в зоне катастрофического 10-балльного Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. с $MLH=6.9$ [6], а также в районах озер Ван в Турции и Урмия в Иране. Повышенной плотностью эпицентров землетрясений выделяются также очаговые зоны Шоржинского 5 февраля ($M_{W_{GCMT}}=5.2$) и Ереванского 13 февраля ($M_{W_{GCMT}}=4.9$) землетрясений (рис. 4), которым в настоящем выпуске журнала посвящены отдельные статьи, [7] и [8] соответственно.

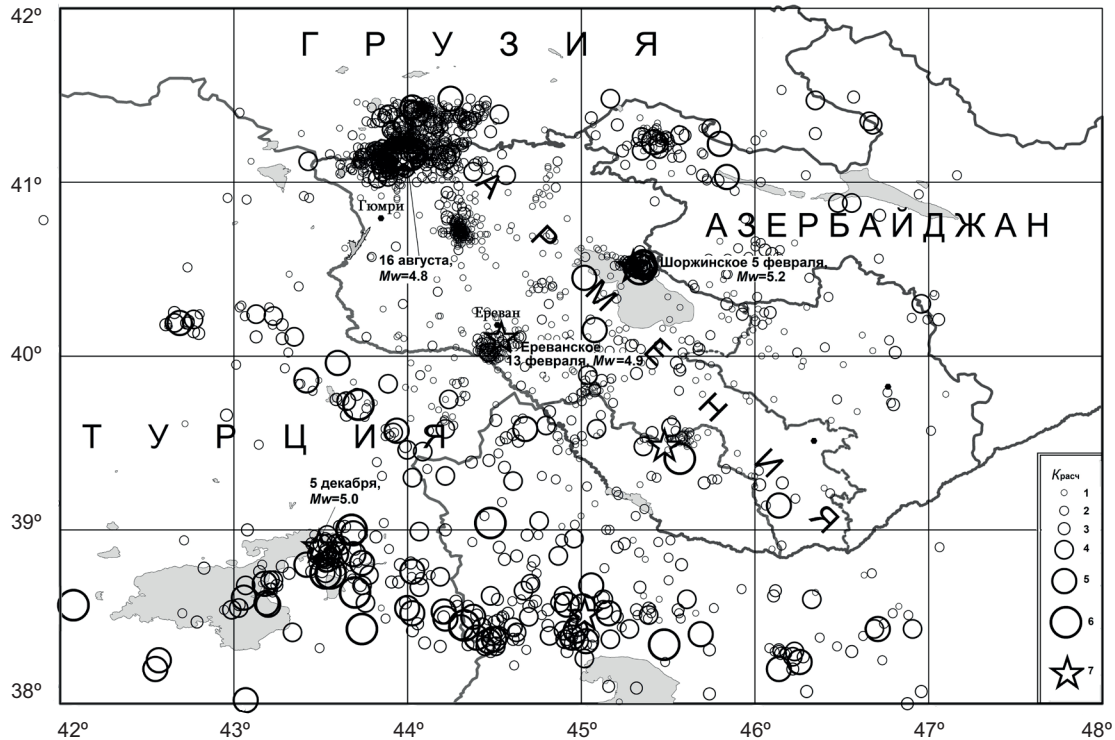


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Армении и сопредельных территорий за 2021 г. Выделены подписями четыре сильнейших в 2021 г. землетрясения с $M_{W_{GCMT}}=4.8-5.2$ на рассматриваемой территории

Энергетические классы $K_{расч}$: 1 – ≤ 6.5 ; 2 – 6.6–7.6; 3 – 7.7–8.6; 4 – 8.7–9.4; 5 – 9.5–10.5; 6 – 10.6–11.5; 7 – ≥ 11.6 .

Макросейсмические проявления ощутимых землетрясений. Информация о макросейсмических проявлениях 40 землетрясений Армении и сопредельных стран в 2021 г. и названиях 126 сотрясенных ими населенных пунктов дана в [Приложение 4, 5] к настоящей статье. Ниже приводятся сведения о наиболее заметных землетрясениях, ощущавшихся с интенсивностью 4 балла и выше в населенных пунктах Армении. Для всех землетрясений приводится время по Гринвичу, которое отличается от местного времени (GMT+4) на четыре часа. Расчеты для интенсивности сотрясений в эпицентре производились согласно [9] по формуле:

$$I_0 = 1.4M - 3.5 \lg h + 4.2, \quad (4)$$

где коэффициенты выбраны согласно модели затухания сотрясений на территории Армении, приведенной в [9]. Магнитуда M соответствует магнитуде по поверхностным волнам M_S .

23 января в 13^h22^m произошло землетрясение с $M_L=4.3$, $M_{S_{ISC}}=3.6$ на глубине $h=10$ км. Интенсивность в эпицентре составляла $I_0=5-6$ баллов. Землетрясение ощущалось в городах и селах Вайоцзорской и Сюникской областей [Приложение 4]: 4 балла по шкале MMI [10] в Малишке, 3–4 балла по шкале MSK-64 [11] в Ехегнадзоре, Вайке, Джержмуке и Барцруни, 3 балла по шкале MSK-64 [11] в г. Сисиане и с. Горайк.

5 февраля в 15^h36^m произошло самое интенсивное ($I_0=6-7$ баллов) в 2021 г. на территории Армении землетрясение с $M_L=4.7$, $M_{W_{GCMT}}=5.2$, названное Шоржинским [7] по названию одного из ближайших к эпицентру населенных пунктов – с. Шоржа Гехаркуникской области, расположенного в 3 км к юго-западу от эпицентра. Интенсивность в эпицентре Шоржинского землетрясения по расчетным и наблюдаемым данным RSSP составила 6–7 баллов [7] по шкале MSK-64 [11], тогда как данным USGS [12], которые представляются завышенными, в с. Ваган оно ощущалось

с интенсивностью VII баллов по шкале MMI [10]). С интенсивностью 6–7 баллов землетрясение проявилось в пяти пунктах Гехаркуникской области (Агберк, Шоржа, Артаниш, Чамбарак, Зовабер), 6 баллов – в четырех (Арцвашен, Гавар, Даранак, Сарухан) [7, 13]. Землетрясение ощущалось также в Котайской, Тавушской, Лорийской, Араратской областях и за пределами Армении. В Ереване и Гюмри интенсивность составила от 3 до 4 баллов. Всего в [Приложение 4] приведены сведения об интенсивности сотрясений в 36 населенных пунктах.

По заявлению губернатора Гехаркуникской губернии, в Артанише в действующей старой школе в результате землетрясения разрушена стена, в Ахбере и Шорже разрушены старые сараи. Жители Чамбарака описывают, как во время землетрясения из шкафа выпали стаканы, передвинулась мебель, в городе полчаса не было света. Некоторые жители выбежали на улицу.

Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками, отмеченными в каталоге [Приложение 2].

5 февраля в 20^h06^m произошел ощутимый афтершок Шоржинского землетрясения с $M_L=3.5$, $K_{расч}=10.3$, на глубине $h=10$ км. Интенсивность в эпицентре составила 5 баллов. Он ощущался в с. Шоржа и г. Берде с интенсивностью 4–5 баллов, в Мартуни, Дилижане и Раздане – 3 балла по шкале MSK-64 [11] [Приложение 4].

13 февраля в 11^h29^m произошло одно из сильнейших землетрясений в 2021 г. на рассматриваемой территории – Ереванское с $M_L=4.7$, $M_{W_{GCMT}}=4.9$, $K_{расч}=12.5$ на глубине $h_i=10$ км [Приложение 2]. Интенсивность в эпицентре составила 6 баллов [8] по шкале MSK-64 [11]. Землетрясение сопровождалось гулом и многочисленными афтершоками. Ощущалось в Ереване и еще четырех населенных пунктах с интенсивностью 5–6 баллов, еще в десяти пунктах – 5 баллов. Всего собраны сведения об ощутимости из 42 населенных пунктов [Приложение 4]. Более подробная информация об этом землетрясении представлена в [8].

16 августа в 01^h44^m в приграничной зоне Грузия–Армения, к северо-востоку от с. Бавра Ширакской области зарегистрировано землетрясение с $M_L=4.5$, $M_{W_{GCMT}}=4.8$, $K_{расч}=12.1$ и глубиной очага $h=10$ км [Приложение 2]. Интенсивность в эпицентре составила $I_0=6$ баллов.

Землетрясение ощущалось в Пагахпюре, Бавре, Зуйгахпюре, Мецаване с интенсивностью 5–6 баллов; в Кармаване, Гелли, Амасии, Артагюхе, Степанаване, Бакуриани – 5 баллов. Всего собраны сведения об ощутимости из 25 населенных пунктов. Схема изосейст землетрясения 16 августа показана на рис. 5.

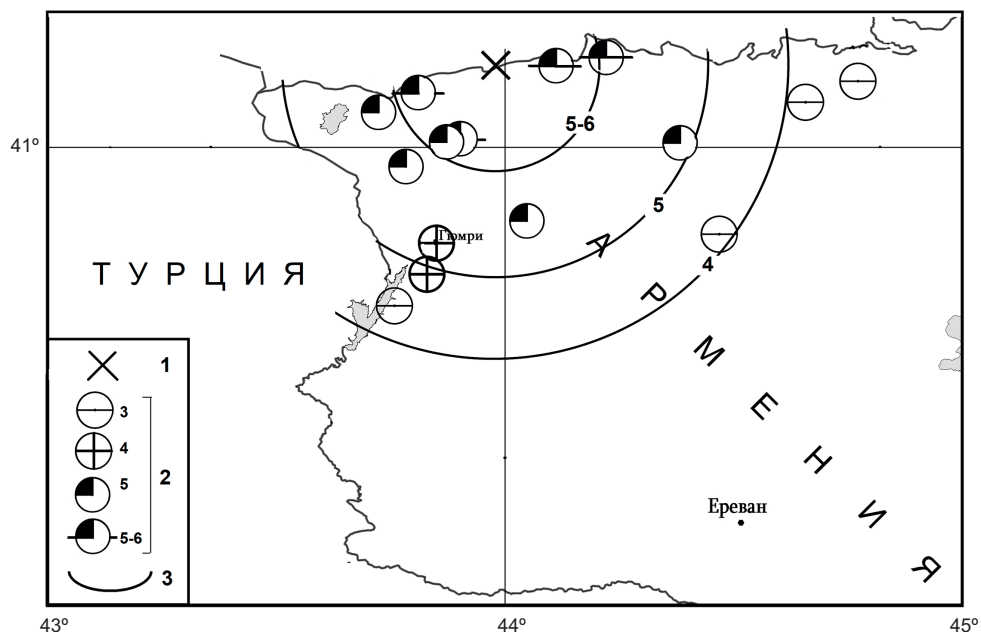


Рис. 5. Схема изосейст землетрясения 16 августа в 01^h44^m по Гринвичу, $M_{W_{GCMT}}=4.8$, $I_0=6$ баллов

1 – эпицентр; 2 – интенсивность I_i в баллах; 3 – изосейста.

24 октября в 17^h04^m вблизи границы Армения–Грузия на глубине 10 км зафиксировано землетрясение с магнитудой $M_L=4.2$, $M_S=3.3$, $K_{расч}=11.6$ [Приложение 2]. Землетрясение сопровождалось гулом и вызвало панику среди населения. Оно ощущалось в Зуйгахпюре, Ашоцке, Бавре, Ташире и Гюмри с интенсивностью 4 балла; в Алаверди, Ванадзоре, Спитаке, Шнохе и Туманян – 3–4 балла [Приложение 4]. В [Приложение 4] включены также собранные в результате анкетного опроса на

сайте USGS [12] данные о проявлениях этого землетрясения еще в нескольких населенных пунктах, в частности, в Лернанцке с интенсивностью 5 баллов по шкале MMI [10].

Механизмы очагов. В [Приложение 3] приводятся параметры механизмов очагов 24 землетрясений с $M_L=3.4-5.2$, $K_{расч}=10.1-13.4$, $h=2-25$ км, решения которых получены с использованием знаков смещений в первых вступлениях *P*-волн на станциях RSSP и соседних государств. Расчеты проведены по программе FM (focal mechanism). Механизмы очагов построены в стереографической проекции в нижней полусфере. В [Приложение 3] включены также решения механизмов очагов по данным, полученным в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США (USGS NEIC) на основе WW-phase Moment Tensor (Mww) и в Ламонт-Дохертской Обсерватории Земли Колумбийского университета, США (LDEO GCMT) по методу CMT (Centroid moment tensor) [15]. Решения по данным разных центров близки.

На рисунке 6 показаны диаграммы механизмов очагов из [Приложение 3]. Большинство эпицентров землетрясений на рис. 6 находятся в границах территории «Армения» ($\varphi=38.0-41.5^\circ N$, $\lambda=42.5-47.4^\circ E$), за исключением событий № 1 и № 8, произошедших за ее пределами в Грузии и Турции, соответственно.

Отметим, что на рассматриваемой территории преобладают сдвиговые и взбросо-сдвиговые подвижки. Среди показанных на рис. 6 землетрясений семь (№ 4, 5, 8, 13, 17, 18, 24) являются сдвигами, одиннадцать (№ 1, 6, 7, 10, 9, 11, 12, 19, 20, 21, 22) – взбросо-сдвигами, и лишь по два – взбросами (№ 2, 3), сбросо-сдвигами (№ 14, 16) и сбросами (№ 15, 23). Для большинства землетрясений простирание одной из нодальных плоскостей согласуется с ориентацией разлома, к которому приурочен очаг землетрясения.

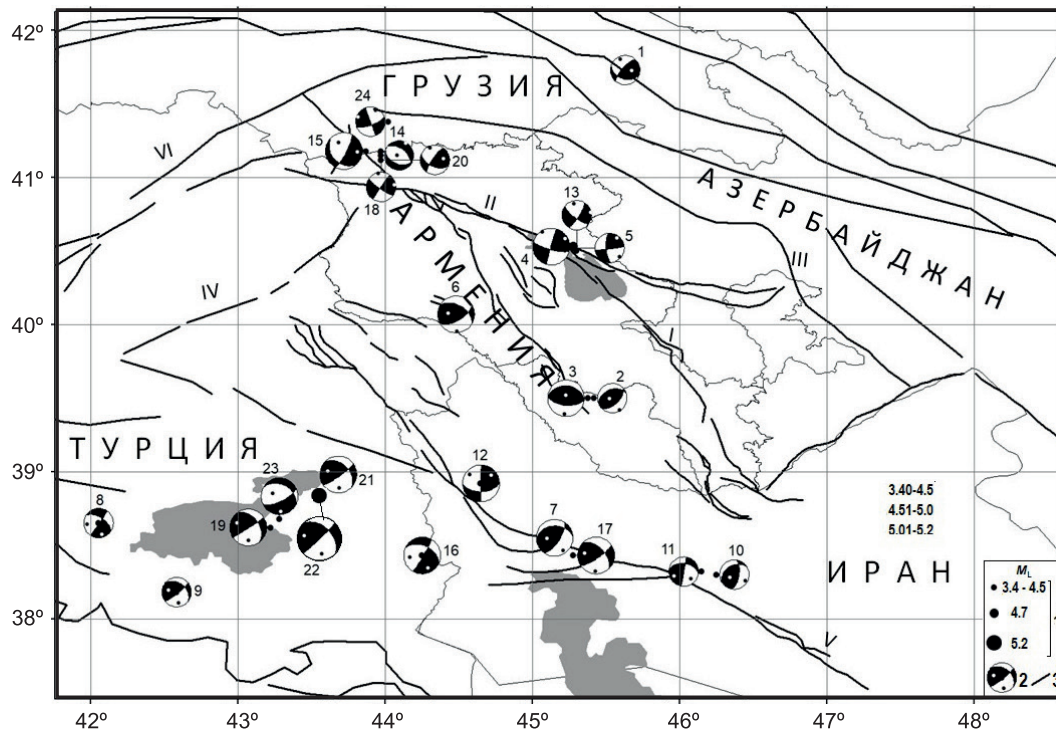


Рис. 6. Диаграммы механизмов очагов землетрясений на территории Республики Армения и сопредельных стран за 2021 г. Цифры рядом с диаграммами соответствуют нумерации землетрясений в каталоге механизмов очагов в [14, Приложение 3]

1 – эпицентр землетрясения с магнитудой M_L ; 2 – диаграмма механизма очага; 3 – разлом: I – Амсия-Сарыкамьшский; II – Памбак-Севанский I; IV – Северо-Анатолийский; V – Восточно-Анатолийский; VI – Казбек-Цхинвальский.

Заключение. Сейсмическая энергия, высвобожденная в 2021 г. на расширенной территории, условно названной «Армения», составила $\Sigma E=3.4 \cdot 10^{13}$ Дж, что почти равно сейсмической энергии в 2019 г. ($\Sigma E=3.48 \cdot 10^{13}$ Дж) и на полтора порядка ниже, чем в 2020 г. ($\Sigma E=9.07 \cdot 10^{14}$ Дж). Наклон графика повторяемости землетрясений $N(K_{расч})$ за 2021 г. ($\gamma=-0.51$) по абсолютной величине немного выше его долгосрочного значения за 1993–2017 гг. ($\gamma_{ср}=-0.49$). Повышенная сейсмическая активность непосредственно в пределах Республики Армения, как и в предыдущие годы, наблюдалась в зоне разрушительного 10-балльного Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г., а также

в очаговых зонах 6–7-балльного Шоржинского 5 февраля ($M_L=4.7$, $Mw_{GCMT}=5.2$) и 6-балльного Ереванского 13 февраля ($M_L=4.7$, $Mw_{GCMT}=4.9$) землетрясений.

Собраны сведения о 40 землетрясениях, ощущавшихся на территории Армении, описаны шесть из них, ощущавшихся с интенсивностью 4 и более баллов.

Большинство землетрясений исследуемой территории имело сдвиговый или взбросо-сдвиговый тип подвижки.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Г.В. Саргсян, Г.Р. Абгарян, А.А. Геворгян, Н.А. Лукаш, С.Г. Пойгина, Г.М. Бахтиярова.

Электронное приложение App03b_Armenia_2021 (<http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>): 1 – Сейсмические станции, работавшие в Армении в 2021 г.; 2 – Каталог землетрясений Армении и сопредельных территорий за 2021 год; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Армении за 2021 год; 4 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Армении за 2021 год; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Армении за 2021 год.

Л и т е р а т у р а

1. Абгарян Г.Р., Саргсян Г.В., Геворгян А.А., Петрова Н.В. Сейсмичность Армении и прилегающих территорий в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 60–68. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.05> EDN: DGRSUO
2. Габриелян А.А., Саргсян О.А., Симонян Г.П. Сейсмотектоника Армянской ССР (с приложениями: Сейсмотектоническая карта Кавказа. Составитель: Габриелян А. А.). – Ереван: Ереванский гос. университет, 1981. – 283 с.
3. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – М.: ИФЗ РАН, 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
4. Lee W.H.K., Lahr J.C. HYPO-71 (Revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion patting of local earthquakes // USGS Survey. Open-file report. – 1975. – P. 75–311.
5. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
6. Геодакян Э.Г., Голинский Г.Л., Папалашвили В.Г., Хромецкая Е.А., Шебалин Н.В. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г., карты изосейст // Землетрясения в СССР в 1988 году. – М.: Наука, 1991. – С. 74–86.
7. Саргсян Г.В., Маргарян С.С., Абгарян Г.Р., Геворгян А.А., Петрова Н.В. Шоржинское землетрясение 5 февраля 2021 г. с $M_L=4.7$, $I_0=6-7$ // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 291–299. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.27> EDN: ULMOGF
8. Саргсян Г.В., Маргарян С.С., Абгарян Г.Р., Геворгян А.А., Петрова Н.В. Ереванское землетрясение 13 февраля 2021 года, $M_L=4.7$, $I_0=6$ (Армения) // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 300–308. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.28> EDN: VEYFYN
9. Шебалин Н.В. Опорные землетрясения и уравнения макросейсмического поля // Новый Каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 20–31.
10. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics // USGS [Web Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/modified-mercalli-intensity-scale>
11. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
12. Search Earthquake Catalog. (2025) // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
13. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2021. (2025) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2021
14. Геворгян А.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Армении за 2021 год // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
15. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2025). [Site]. – URL: <http://www.globalcmt.org/>

SEISMICITY of ARMENIA and ADJACENT TERRITORIES in 2021**G.R. Abgaryan¹, S.S. Margaryan¹, H.V. Sargsyan¹, N.V. Petrova²**¹*SNCO «Regional Seismic Protection Survey» of the Ministry of Internal Affairs,
Yerevan, Armenia, ovash@yandex.ru*²*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, npetrova@gsras.ru*

Abstract. An overview of the seismicity of the territory of the Republic of Armenia and neighboring countries for 2021 is given. More than 4000 local earthquakes have been processed, $N=2629$ earthquakes are included in the catalog for 2021. Within the Republic of Armenia immediately, the highest level of seismic activity was recorded in the north, in the source zone of the 10-point Spitak earthquake of 1988 with $MLV=6.9$. Analysis of earthquake recurrence graph for 2021 showed that the slope of the graph $\gamma=-0.51$ almost corresponds to the long-term value for the territory of the Republic of Armenia and neighboring countries ($\gamma=-0.49$). The seismic energy released in 2021 in the territory under consideration ($\Sigma E=3.40 \cdot 10^{13} J$) is approximately equal to that in 2019 ($\Sigma E=3.48 \cdot 10^{13} J$), but one and a half orders of energy lower than in 2020 ($\Sigma E=9.07 \cdot 10^{14} J$). Information was collected on 40 earthquakes felt in the territory of Armenia. The article describes six of them, felt with an intensity of 4 or more. The focal mechanisms of 24 earthquakes in the study area were determined, most of them are strike-slip and reverse-slip faults.

Keywords: seismicity, seismograph, catalogue, earthquake, Armenia, seismic activity, source zone.

For citation: Abgaryan, G.R., Margaryan, S.S., Sargsyan, H.V., & Petrova, N.V. (2025). [Seismicity of Armenia and adjacent territories in 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 61–68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.05> EDN: BMAGWP

References

1. Abgaryan, G.R., Sargsyan, H.V., Gevorgyan, A.A., & Petrova, N.V. (2024). [Seismicity of Armenia and adjacent territories in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 60–68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.05> EDN: DGRSUO
2. Gabrielyan, A.A., Sargsyan, O.A., & Simonyan, G.P. (1981). *Sejsmotektonika Armyanskoj SSR (s prilozheniyami: Sejsmotektonicheskaya karta Kavkaza. Sostavitel': Gabrielyan A.A.)* [Seismotectonics of the Armenian SSR (with appendices: Seismotectonic map of the Caucasus. Compiled by: Gabrielyan A.A.)]. Yerevan, Armenia: Yerevan State University Publ., 283 p.
3. Droznin, D.V., & Droznina, S.Y. (2011). Interactive DIMAS program for processing seismic signals. *Seismic Instruments*, 47(3), 215–224. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923911030054>
4. Lee, W.H.K., & Lahr, J.C. (1975). HYPO-71 (Revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion patting of local earthquakes. *USGS Survey. Open-file report*, 75–311.
5. Rautian, T.G. (1960). [Energy of earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti (Trudy IFZ AN SSSR, № 9(176))* [Methods of Detail Study of Seismicity] (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).
6. Geodakyan, E.G., Golinskiy, G.L., Papalashvili, V.G., Chromeckaya, E.A., & Shebalin, N.V. (1991). [Spitak earthquake on December 7, 1988, isoseist maps]. In *Zemletriaseniia v SSSR v 1988 godu* [Earthquake in the USSR in 1988] (pp. 74–86). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
7. Sargsyan, G.V., Margaryan, S.S., Abgaryan, G.R., & Gevorgyan, A.A., & Petrova, N.V. (2025). [Shorzha earthquake on February 5, 2021 with $M_L=4.7$, $I_0=6-7$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 291–299. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.27> EDN: ULMOGF
8. Sargsyan, H.V., Margaryan, S.S., Abgaryan, G.R., Gevorgyan, A.A., & Petrova, N.V. (2025). [Yerevan earthquake on February 13, 2021, $M_L=4.7$, $I_0=6$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 300–308. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.28> EDN: VEYFYN
9. Shebalin, N.V. (1977). [Reference earthquakes and macroseismic field equations]. In *Novyi catalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* [A new catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times to 1975] (pp. 20–30). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
10. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics. USGS. (2021). Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/modified-mercalli-intensity-scale>
11. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
12. USGS. (2025). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
13. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2021. (2025). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2021
14. Gevorgyan A.A. (2025). [Catalog of focal mechanisms of earthquakes of Armenia for 2021]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
15. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2025). Retrieved from <http://www.globalcmt.org/>