

УДК 550.348 (479.25)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АРМЕНИИ и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2018–2019 гг.

Г.Р. Абгарян, Г.В. Саргсян

ГНКО «Региональная служба сейсмической защиты» МЧС Республики Армения,
 ovash@yandex.ru

Аннотация. Приведен обзор сейсмичности территории республики Армения и сопредельных стран за 2018 и 2019 гг. Обработано более 4000 местных землетрясений. В каталог землетрясений по Республике Армения включены за 2018 г. $N=1417$ землетрясений, а за 2019 г. – 1416. В пределах Республики наибольший уровень сейсмической активности зафиксирован на севере, в очаговой зоне 10-балльного Спитакского землетрясения 1988 г. с $MLV=6.9$. Анализ графиков повторяемости землетрясений за 2018 и 2019 гг. показал, что наклоны графиков равные $\gamma_{2018}=-0.47$ и $\gamma_{2019}=-0.42$, несколько ниже по абсолютной величине, чем среднее значение за 1993–2017 гг. $\gamma_{\text{ср}}=-0.49$. Согласно графикам, в 2018–2019 гг. в зоне ответственности без пропусков регистрировались землетрясения с $Kp=8$. Описаны ощутимые на территории Армении землетрясения за 2018 и 2019 гг.

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

Для цитирования: Абгарян Г.Р., Саргсян Г.В. Сейсмичность Армении и прилегающих территорий в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С.67–72. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.05> EDN: ZKJOJW

Введение. Как и ранее [1], в двух сейсмологических центрах Армении – в Ереване и Гюмри – составлены сводные сейсмологические бюллетени по Кавказу и каталог землетрясений 2018 и 2019 гг., зарегистрированных сетью сейсмических станций Республики Армения. Каталог (Приложение 1) включает события в пределах координат $\Delta\varphi=38.0-41.5^\circ$ N, $\Delta\lambda=42.0-47.0^\circ$ E. Представленный ниже анализ сейсмичности указанной территории за 2018–2019 гг. проведен на основе этого каталога.

Сеть сейсмологических наблюдений на территории Республики Армения в 2018–2019 гг., по сравнению с таковой в 2016–2017 гг., значительно изменилась. В 2018 г. в семи пунктах были установлены новые цифровые станции GURALP, еще в одном пункте – в 2019 году. Сведения о новых станциях приведены в табл. 1. Станция «Егвард» (EGV) была открыта в конце 2017 г., но ее данные включили в обработку только с 2018 года.

Таблица 1. Наименование и географические координаты новых станций

№	Станция		Год открытия	Координаты		Аппаратура
	Название	Код		φ° , N	λ° , E	
1	Айрек	AYRK	2018	40.115	45.788	GURALP
2	Адруг	HDRT	2018	39.530	47.03	"_"
3	Лусаовит	LSVT	2018	40.917	45.189	"_"
4	Бавра	BAVR	2018	41.113	43.804	"_"
5	Камо	KAM	2018	40.822	43.949	"_"
6	Каратак	KRTK	2018	39.100	46.570	"_"
7	Егвард	EGV	Декабрь 2017 г.	39.230	46.550	"_"
8	Алванк	ALVK	2019	38.941	46.350	"_"

Всего на территории Армении в 2018–2019 гг. функционировала 21 сейсмическая станция (Приложение 2). Их положение и обеспечиваемая ими магнитудная представительность M_{min} показаны на рис. 1.

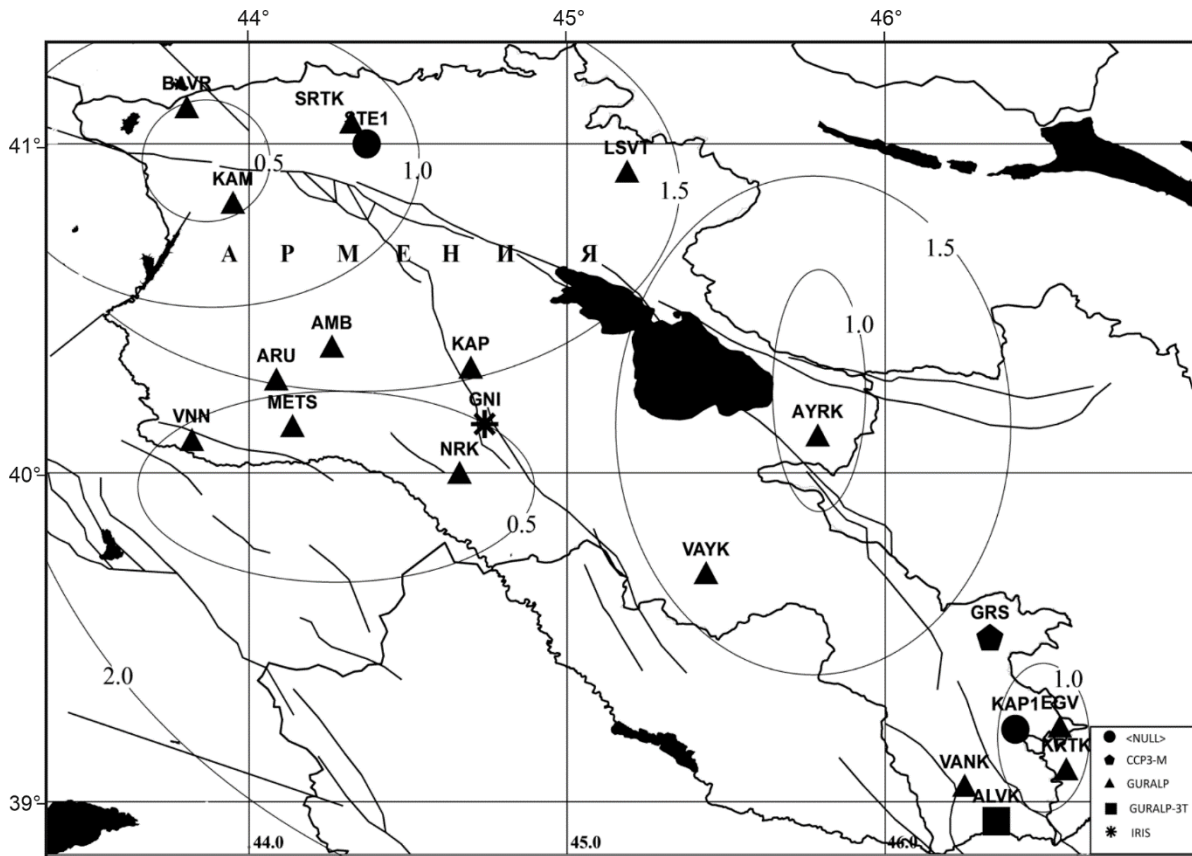


Рис. 1. Положение станций, функционировавших на территории республики Армения в 2018–2019 гг., и изолинии обеспечиваемой ими магнитудной представительности M_{\min} на фоне карты-схемы разломов по А.А. Габриеляну [2]

Методика определения основных параметров землетрясений не изменилась. В основе всех использованных программ локации гипоцентров лежит метод засечек. При обработке первичных данных станций GURALP использована программа DIMAS [3]. Для более сильных событий привлекались также сведения Геофизической службы РАН (MOS) [4], региональной сети станций Грузии (TIF) из [5], 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) также в Иране. Особенно это важно при локации землетрясений юга Республики Армения и прилегающих территорий.

Обработка землетрясений проводилась, в основном, машинным способом по программе НУРО-71 [6], для более сильных землетрясений переходили и к ручной обработке. Классификация землетрясений выполнена в магнитудах M_L , которые определялись по формуле для локальной магнитуды, заложенной в программе IRIS для обработки близких землетрясений:

$$M_L = \lg(A/T) + 2.56 \cdot \lg \Delta + 0.67, \quad (1)$$

где A – максимальная амплитуда поперечной S -волны в $\mu\text{м}$; T – преобладающий период в измеряемой волне (сек); Δ – расстояние от станции до источника (км). Все энергетические классы пересчитаны из магнитуд M_L по формуле Т.Г. Раутиан: $K_{\text{расч.}} = 4 + 1.8 M$ [7].

Каталог землетрясений и карта эпицентров. Общее число землетрясений N_{Σ} , зарегистрированных Национальной сетью сейсмологических наблюдений Республики Армения (НССЗ РА) – около 4000 в 2018 г. и более 5000 – в 2019 году. Но в публикуемый каталог землетрясений (Приложение 1) включены лишь $N=1417$ землетрясений за 2018 г. и $N=1416$ – за 2019 г. с эпицентрами непосредственно на территории Армении и вблизи ее границ с Азербайджаном, Грузией, Турцией и Ираном. Карта их эпицентров приведена на рис. 2.

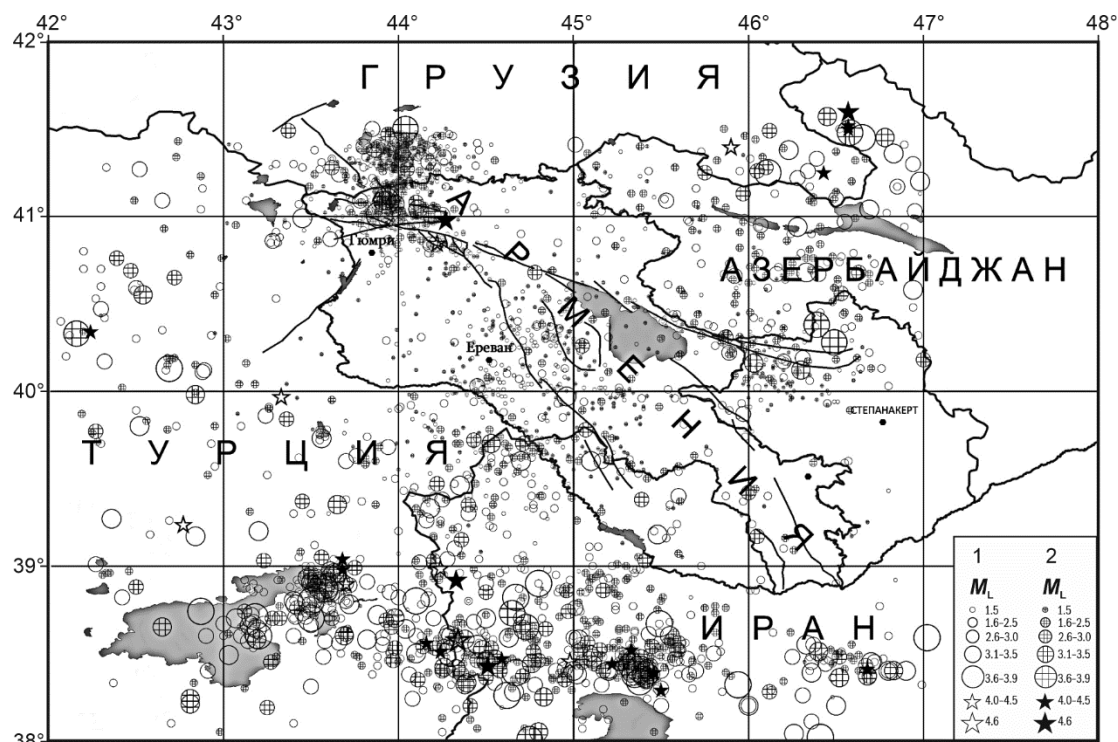


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений за 2018 г. (1) и 2019 г. (2)

Статистика землетрясений. В табл. 2 приведено ежемесячное количество землетрясений N и суммарной высвобожденной энергии ΣE за 2018 и 2019 гг. по отдельности и вместе.

Таблица 2. Ежемесячное количество N землетрясений, суммарно-высвобожденной ими энергии ΣE за 2018 и 2019 гг.

2018: $N_{\Sigma}=1417$, $\Sigma E=6.42 \cdot 10^{12}$ Дж												
T (мес)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N (кол.)	115	88	107	99	113	153	125	149	95	135	131	107
$\Sigma E \cdot 10^{12}$ Дж	0.07	0.06	0.4	0.2	1.38	3.87	1.17	0.12	0.1	0.44	0.2	0.2
2019: $N_{\Sigma}=1416$, $\Sigma E=34.78 \cdot 10^{12}$ Дж												
T (мес)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N (кол.)	118	132	147	139	109	123	108	96	165	97	107	75
$\Sigma E \cdot 10^{12}$ Дж	0.0001	0.867	0.577	0.809	0.0647	0.527	0.057	7.95	6.26	0.0262	16.2	1.44

Из табл. 2 и рис. 3 следует, что наибольшее количество N землетрясений приходится на июнь 2018 г. и сентябрь 2019 года. Максимум высвобожденной за месяц сейсмической энергии ΣE в 2018 г. наблюдался, как и максимум числа землетрясений N , в июне, а в 2019 г. – в августе и ноябре.

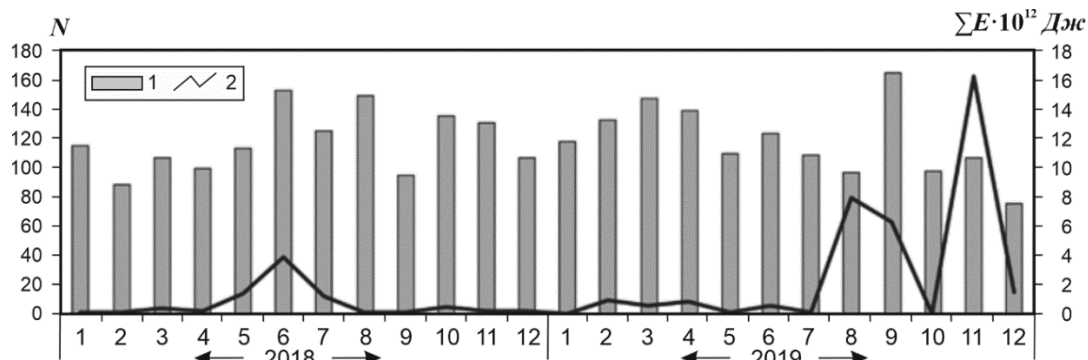


Рис. 3. Распределение ежемесячных чисел землетрясений N и суммарной высвобожденной энергии ΣE за период 2018–2019 гг.

Как видно из карты эпицентров землетрясений, наиболее сейсмоактивными были примыкающий к Джавахетскому нагорью северо-запад Республики Армения, район оз. Ван в Турции и оз. Урмия в Иране. Непосредственно в Армении по-прежнему активной, особенно в 2019 г., была очаговая зона Спитакского землетрясения 07.12.1988 г. с $MLH=6.8$, $K_p=16.5$ [8], сопредельная с Джавахетским нагорьем. Слабый сейсмический фон поддерживался по всей территории Республики.

В табл. 3 приведены результаты распределения количества землетрясений по энергетическим классам в 2018 г. и в 2019 году. Для сравнения в таблице приведены среднегодовые значения N_{cp} за предыдущие 25 лет.

Таблица 3. Распределение количества землетрясений по расчетным энергетическим классам в 2018 и 2019 гг. и в среднем за период 1993–2017 гг. из [1]

Годы	$K_{расч}$												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17
2018	31	158	335	286	359	156	71	11	6	–	–	–	–
2019	18	247	374	273	314	112	46	17	8	2	–	–	–
N_{cp} 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 табл. 3 построены графики повторяемости землетрясений за 2018 г., 2019 г. (рис. 4).

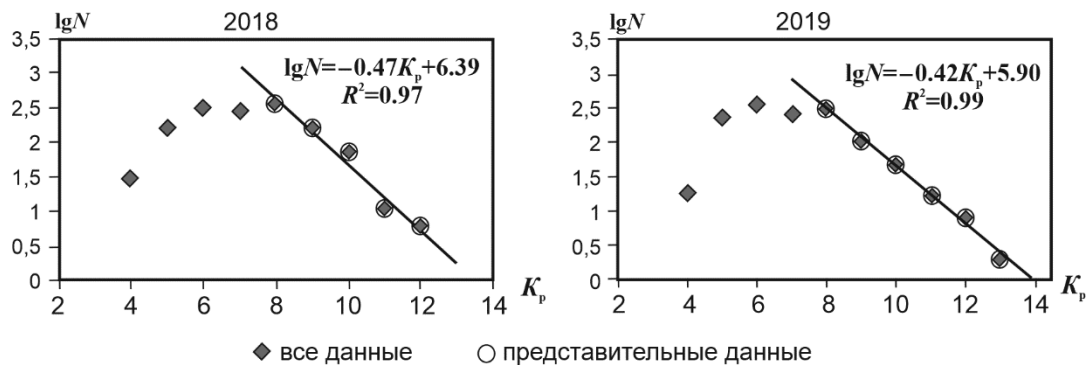


Рис. 4. Графики повторяемости землетрясений территории Республики Армения и сопредельных стран в пределах координат $\varphi=38.0-41.5^\circ N$, $\lambda=42.0-47.0^\circ E$ за 2018 и 2019 гг.

Согласно рис. 4, уравнения корреляции $lgN(K_{расч})$ за 2018 и 2019 гг., приведенные на рисунке, получены для представительных данных с $K_{расч} \geq 8$ с высокой достоверностью аппроксимации ($R^2=0.97$ и $R^2=0.99$ соответственно). Наклон графика повторяемости за 2018 г. равен $\gamma=-0.47$, в 2019 г. – $\gamma=-0.42$, что несколько ниже среднегодового $\gamma=-0.49$ за период с 1993 г. по 2017 г. [1].

Макросейсмические проявления ощутимых землетрясений. Расчеты интенсивности сотрясений I_0 в эпицентре проводились по формуле Н.В. Шебалина для Закавказья из [9]:

$$I_0=1.4M-3.5lgh+4.2. \tag{2}$$

2018 год:

3 марта в 20^h22^m произошло землетрясение на территории Ирана с магнитудой $M_L=3.0$ (Приложение 1), которое ощущалось в селах Чива ($\Delta=82$ км) и Елпин ($\Delta=85$ км) на юге Республики с $I_i=3-4$ балла и в г. Ехегнадзоре ($\Delta=95$ км) с $I_i=3$ балла (Приложение 3). Балльность дана по шкале MSK-64 [10].

6 июня на северо-западе республики Армения возникли два землетрясения одинаковой глубины $h=10$ км с интервалом времени между ними около 9 часов (в 03^h58^m и в 13^h07^m) и расстоянием 33 км ($\varphi_1=41.01^\circ N$, $\lambda_1=43.89^\circ E$; $\varphi_2=40.85^\circ N$, $\lambda_2=44.22^\circ E$). Первое имело магнитуду $M_L=3.6$ ($K_{расч}=10.5$), второе – $M_L=4.3$ ($K_{расч}=11.7$). Расчетная по формуле (1) интенсивность сотрясений в их эпицентрах I_0 равна ~6 и ~7 баллов соответственно. Эти события описаны в отдельной статье настоящего выпуска журнала [11].

2019 год:

24 апреля в 07^h15^m произошло ощутимое землетрясение в районе Арцах (Нагорного Карабаха), $h=10$ км, $M_L=3.2$, $K_{расч}=9.8$ (Приложение 1), I_0 расч=5 баллов. Землетрясение ощущалось

с $I_i=3-4$ балла в пяти населенных пунктах: Нор Карачинар ($\Delta=11$ км), Ехегнут (13 км), Кельбаджара (14 км), Кнараван (18 км), Нор Хорхапут (21 км) (Приложение 3). Землетрясение сопровождалось многочисленными слабыми афтершоками.

21 августа 2019 г. в 10^h20^m произошло ощутимое землетрясение на севере Армении с магнитудой $M_L=3.1$ ($K_{расч}=7.8$), $h=10$ км (Приложение 1), вызвавшее сотрясения с $I_i=3-4$ балла в селе Бавра, ($\Delta=16$ км) (Приложение 3). Землетрясение сопровождалось немногочисленными слабыми афтершоками.

22 августа в 05^h41^m произошло землетрясение с магнитудой $M_L=3.9$ ($K_{расч}=11.0$), $h=11$ км (Приложение 1) в Арцахе (Нагорном Карабахе). Землетрясение ощущалось на территории Республики в двух пунктах: Варденис с $I_i=3$ балла ($\Delta=65$ км) и Лчач – 2–3 балла (122 км) [Приложение 3].

10 сентября произошли два землетрясения в интервале двух минут (в 16^h22^m и в 16^h24^m) на расстоянии 31 км друг от друга ($\varphi_1=40.98^\circ N$, $\lambda_1=44.27^\circ E$; $\varphi_2=41.09^\circ N$, $\lambda_2=43.93^\circ E$) с $M_L=4.7$ ($K_{расч}=12.5$), $h=10$ км и $M_L=3.8$ ($K_{расч}=11.0$), $h=8$ км соответственно. Расчетные по формуле (1) интенсивности сотрясений в их эпицентрах составляют ~ 5.7 и 7.0 баллов. Эти землетрясения описаны в той же статье [11] настоящего выпуска журнала, что и упомянутые выше два землетрясения за 6 июня 2018 года.

10 сентября отмечено еще одно землетрясение в 17^h16^m с $M_L=3.1$ ($K_{расч}=9.6$), $h=10$ км, которое вызвало 5-балльные сотрясения в Бавре (34 км) и Ашоцке (28 км).

11 сентября в 00^h45^m зарегистрировано событие с $M_L=3.1$ ($K_{расч}=9.6$), $h=10$ км с 4–5-балльными сотрясениями в Бавре (27 км) и Ашоцке (21 км), 3-балльными – в Гюмри (35 км).

4 октября в 03^h05^m произошло землетрясение с $M_L=2.6$ ($K_{расч}=8.7$), $h=2$ км, ощутимое с интенсивностью 4 балла в пунктах Зуйгахпюр ($\Delta=18$ км), Ашоцк (21 км), Бавра (25 км); 3 балла в Дзорашене (17 км), Амасии (30 км); 2–3 балла в Ширакамуте (26 км), Гюмри (38 км) (Приложения 1, 3).

Заключение. Сейсмический процесс на исследуемой территории в 2018 и 2019 гг. в целом отличался повышенной интенсивностью. В пределах Армении наиболее высокий уровень сейсмической активности, как и в предыдущие годы, наблюдался в зоне разрушительного Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года. Кроме того, значительные землетрясения, часть из которых ощущалась на территории Республики, зафиксированы на примыкающих к Армении территориях Турции, Ирана, Азербайджана.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Г.В. Саргсян, Г.Р. Абгарян, К.Л. Хачкалян, Г.А. Бабаджанян.

Электронное приложение App03b_Armenia_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Каталог землетрясений Армении и сопредельных территорий за 2018–2019 гг.; 2 – Сейсмические станции, работавшие в Армении в 2018–2019 гг.; 3 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Армении в населенных пунктах за 2018–2019 гг.

Л и т е р а т у р а

1. Саргсян Г.В., Абгарян Г.Р., Геворгян А.А., Хачкалян К.Л., Михайлова Р.С. Сейсмичность Армении и прилегающих территорий в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 66–73. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.05>. EDN: PRTXLW
2. Габриелян А.А., Саргсян О.А., Симонян Г.П. Сейсмоструктура Армянской ССР (с приложениями: Сейсмоструктурная карта Кавказа. Составитель: Габриелян А.А.). – Ереван: Ереванский гос. университет, 1981. – 283 с.
3. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – М.: ИФЗ РАН, 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
4. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2018–2019. (2023) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
5. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. 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.
7. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
8. 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.
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. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
11. Саргсян Г.В., Абгарян Г.Р., Григорян А.А. Серия ощутимых землетрясений в 2018–2019 гг. в очаговой зоне Спитакского землетрясения 1988 года // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 312–322 DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.28> EDN: EUEYPC

SEISMICITY of ARMENIA and ADJACENT TERRITORIES in 2018–2019

G.R. Abgaryan, G.V. Sargsyan

*Regional Seismic Protection Service of the Ministry of Emergencies of the Republic of Armenia,
ovash@yandex.ru*

Abstract. Here is the overview of the seismicity of the territory of the Republic of Armenia and surrounding countries for 2018 and 2019. More than 4000 local earthquakes have been processed. $N=1417$ earthquakes for 2018 and $N=1416$ earthquakes for 2019 were included in the catalogue of the earthquakes of the Republic of Armenia. Within the Republic the highest level of seismic activity is fixed in the north, and in the source zone of the Spitak earthquake 1988, $MLV=6.9$, $I_0=10$. Analysis of earthquake recurrence graphs for 2018, 2019 showed that the slope of the earthquake recurrence graphs ($\gamma_{2018}=-0.47$ and $\gamma_{2019}=-0.42$ respectively) is slightly lower in absolute value than its average value for 1993–2017 ($\gamma=-0.49$). Earthquakes felt on the territory of Armenia for 2018 and 2019 are described.

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

For citation: Abgaryan, G.R., & Sargsyan, H.V. (2023). [Seismicity of Armenia and adjacent territories in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 66–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.05> EDN: ZKJOJW

R e f e r e n c e s

1. Sargsyan, G.V., Abgaryan, G.R., Gevorgyan, A.A., & Khachkalyan, K.L. (2022). [Seismicity of Armenia and adjacent territories in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 66–73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.05>. EDN: PRTXLW
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. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2018–2019. (2023). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
5. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. 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.
7. 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.).
8. 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.).
9. Shebalin, N.V. (1977). [Reference earthquakes and macroseismic field equations]. In *Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSRs 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. 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.).
11. Sargsyan, G.V., Abgaryan, G.R., & Grigoryan, A.A. (2023). [Series of perceptible earthquakes in 2018–2019 in the source zone of the 1988 Spitak earthquake]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 312–322. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.28> EDN: EUEYPC