

УДК 550.348. (575.3)

**СЕРИЯ ОЩУТИМЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2018–2019 гг. в ОЧАГОВОЙ ЗОНЕ
10-БАЛЛЬНОГО СПИТАКСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1988 года**

Г.В. Саргсян¹, Г.Р. Абгарян¹, А.А. Григорян¹, Н.В. Петрова²

¹Территориальная служба сейсмической защиты МЧС РА, г. Гюмри, Армения, ovash@yandex.ru

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

Аннотация. Приведены результаты исследования ощутимых сейсмических событий с интенсивностью в эпицентре 5–6 баллов и выше, возникших в 2018–2019 гг. в очаговой зоне 10-балльного Спитакского землетрясения 07.12.1988 г. с $MLH=6.8$. Два землетрясения 6 июня 2018 г., в 03^h58^m с $M_L=3.6$ и в 13^h07^m с $M_L=4.3$, а также два толчка 10 сентября 2019 г., в 16^h22^m с $M_L=4.7$ и в 16^h24^m с $M_L=3.9$, ощущались в ближайших населенных пунктах с интенсивностью 5 и более баллов. Для трех из них по собранным макросейсмическим данным построены карты изосейст и определены макросейсмические параметры. Простирание нодальных плоскостей разрывов в очагах землетрясений согласуется с направлением вытянутости системы изосейст, которое, в свою очередь, для трех событий совпадает с простиранием ближайших разломов Памбак-Севанской системы.

Ключевые слова: Армения, инструментальные наблюдения, афтершок, механизм очага, макросейсмические данные, изосейста.

Для цитирования: Саргсян Г.В., Абгарян Г.Р., Григорян А.А., Петрова Н.В. Серия ощутимых землетрясений 2018–2019 гг. в очаговой зоне 10-балльного 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

Введение. Очаговая зона разрушительного Спитакского землетрясения 1988 г. с интенсивностью в эпицентре до 10 баллов, расположенная на северо-западе Армении и приуроченная к Абул-Самсарскому, Памбак-Севанскому и Транскавказскому разломам [1], вплоть до настоящего времени остается одной из наиболее сейсмоактивных областей Кавказа. Пространственное распределение эпицентров землетрясений исследуемой зоны в 2018–2019 гг., выделенное окружностью на фоне карты сейсмичности Армении и сопредельных территорий в этот период, показано на рис. 1. Среди них наиболее заметными были землетрясения 6 июня 2018 г. в 03^h58^m с $M_L=3.6$ и в 13^h07^m с $M_L=4.3$, а также 10 сентября 2019 г. в 16^h22^m с $M_L=4.7$ и в 16^h24^m с $M_L=3.9$. Они ощущались в ближайших населенных пунктах с интенсивностью 5 и более баллов.

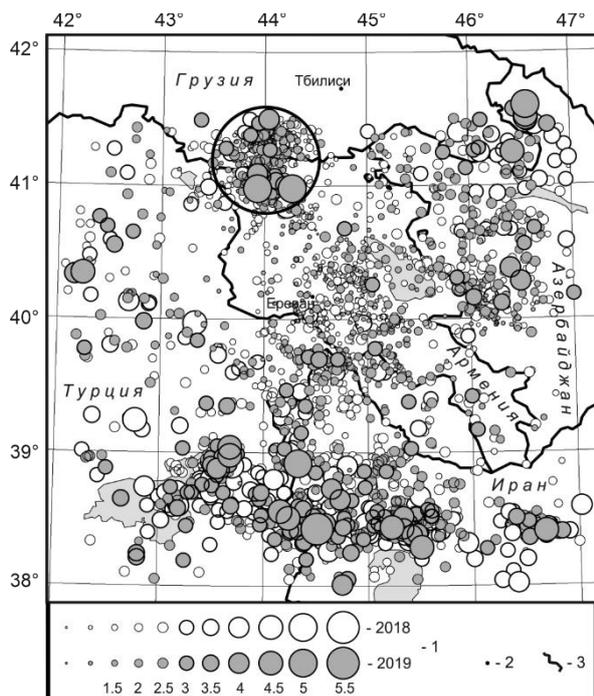


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Армении и прилегающих территорий за 2018–2019 гг. Окружностью очерчена Спитакская очаговая зона.

1 – магнитуды M_L землетрясений за 2018–2019 гг.; 2 – столицы Армении и Грузии, Ереван и Тбилиси; 3 – государственная граница.

Для обследования макросейсмического поля этих землетрясений Территориальной службой сейсмической защиты Республики Армения (ТССЗ РА) была организована экспедиция по маршрутам Гюмри-Ашоцк-Бавра, Гюмри-Амасия и Гюмри-Мусаелян-Дзорашен. Статья посвящена результатам макросейсмического обследования Спитакских землетрясений в комплексе с инструментальными данными (основные параметры, афтершоки, механизмы очагов) и тектоническими особенностями региона.

Основные параметры рассматриваемых землетрясений приведены в табл. 1. Расчет приведенных в таблице значений энергетических

классов K_p выполнен по формуле Т.Г. Раутиан [2], а интенсивности сотрясений I_0 в эпицентре – по уравнению макросейсмического поля Н.В. Шебалина с коэффициентами для Армении [3]:

$$K_{\text{расч}}=4+1.8 \cdot M_L, \quad (1)$$

$$I_{0 \text{ расч}}=1.4 \cdot M-3.5 \cdot \lg h+4.2. \quad (2)$$

Таблица 1. Основные параметры землетрясений Спитакской зоны 2018 и 2019 гг., ощущавшихся в ближайших населенных пунктах Армении с интенсивностью 5 и более баллов, по данным ТССЗ РА

№	Дата, д м год	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			M_L	$K_{\text{расч}}$	$I_{0 \text{ расч}}$
			φ°, N	λ°, E	$h, км$			
1	06.06.2018	03 58 23.6	41.01	43.89	10	3.6	10.5	5.7
2	06.06.2018	13 07 15.8	40.85	44.22	10	4.3	11.7	6.7
3	10.09.2019	16 22 45.8	40.98	44.27	10	4.7	12.5	7.3
4	10.09.2019	16 24 39.9	41.09	43.93	8	3.9	11.0	5.5

Землетрясение 6 июня 2018 г. в 03^h58^m с $M_L=3.6$, $K_{\text{расч}}=10.5$

Инструментальные данные. Землетрясение с интенсивностью в эпицентре $I_0=5-6$ баллов (табл. 1) произошло в 03^h58^m по Гринвичу в Лорийском районе Армении.

Расчеты основных параметров землетрясения в ТССЗ РА, приведенных в табл. 2, проводились на основе записей сейсмической сети Республики Армения (Приложение 1) с привлечением данных сейсмических станций с сайта EMSC (см. расшифровку в примечании к табл. 2). Обработка сейсмологического материала проводилась машинным способом. Применялись метод засечек, составленный по технологии GIS, метод изохрон и программа HYPO-71 [4] для ближней зоны. По данным ТССЗ РА, координаты инструментального эпицентра составили $\varphi_n=41.01^\circ N$ и $\lambda_n=43.89^\circ E$ с $M_L=3.6$, глубина очага $h=10$ км (Приложение 2), расчетный класс $K_{\text{расч}}=10.5$. Эпицентр землетрясения расположен в 14 км юго-западнее села Бавра и в 25 км к северу от г. Гюмри. Для сопоставления в табл. 2 приведены данные других сейсмологических центров.

Таблица 2. Основные параметры землетрясения 6 июня 2018 г. в 03^h58^m с $M_L=3.6$ по данным различных сейсмологических центров

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ°, N	$\delta, км$	λ°, E	$\delta, км$	$h, км$	$\delta h, км$		
ТССЗ РА	03 58 23.6	0.20	41.01	3	43.89	3	10	–	$M_L=3.6, K_{\text{расч}}=10.5$	(Прил. 2)
TIF	03 58 23.2	0.27	41.06	–	43.95	–	12.3	–	–	[5]
AFAD	03 58 23.9	0.20	41.01	–	43.89	–	34.8	–	$M_w=3.8$	[5]
MOS	03 58 23.9	1.07	41.10	–	43.98	–	1.0	0.2	$MPSP=4.2, K_p=11.0$	[6]
ISC	03 58 24.4	0.71	41.05	1.9	43.98	1.7	8.5	5.1	$M_s=3.2/5, m_b=3.9/10$	[5]
IDC	03 58 23.7	0.73	41.08	15.7	44.10	6.6	0f	–	$M_s=3.0/7, m_b=3.8/6$	[5]

Примечание. ТССЗ РА – Территориальная служба сейсмической защиты Республики Армения; TIF – Institute of Earth Sciences/National Seismic Monitoring Center, Tbilisi, Georgia; AFAD – Disaster and Emergency Management Presidency, Ankara, Turkey; MOS – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»; ISC – International Seismic Centre, Thatcham, United Kingdom; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT), Vienna, Austria.

Последовавшие за описываемым землетрясением более слабые сейсмические события, которые можно было бы отнести к *афтершокам*, немногочисленны, их всего семь, и реализовались они быстро, в течение двух часов (табл. 3). Максимальное из них возникло через 38^m после главного толчка с $K_a=10.3$, т.е. величина энергетической ступени между ними, равная 0.2,

$$\Delta K_a=K_0-K_a=10.5-10.3=0.2,$$

крайне низкая. Следовательно, их следует считать просто группой, причем не самостоятельной, а предваряющей более сильный толчок, произошедший в этот же день, в 13^h07^m, с $K_{\text{расч}}=11.7$. Поэтому все события, приведенные в табл. 3, отнесены к его форшокам и отмечены в каталоге (Приложение 2) меткой «форшок».

Таблица 3. Основные параметры событий группы из землетрясения 6 июня 2018 г. в 03^h58^m с $M_L=3.6$, $K_{расч}=10.5$ и семи последовавших толчков, отнесенной к форшокам землетрясения 6 июня в 13^h07^m с $M_L=4.3$

№	t_0 , ч мин с	φ° , N	λ° , E	h , км	M_L	$K_{расч}$
1	03 58 23.6	41.01	43.89	10	3.6	10.5
2	04 06 19.35	41.06	43.94	5	1.7	7.1
3	04 06 49.40	41.06	43.94	2	3.2	10.3
4	04 13 15.60	41.12	43.97	5	0.8	5.4
5	04 14 20.94	41.13	43.98	5	1.4	6.5
6	04 15 23.96	41.13	43.98	5	1.3	6.3
7	05 57 13.80	41.33	44.08	5	1.1	6.0
8	06 12 21.50	41.06	43.94	–	0.4	4.7

Макросейсмические данные. Согласно расчетным данным по формуле (2), интенсивность землетрясения в эпицентре, при h и M из табл. 3, достигала $I_0=5.7$ баллов, или, с шагом в полбалла, $I_0=5-6$ баллов. Это соответствует интенсивности проявления землетрясения в пяти ближайших населенных пунктах (табл. 4). В результате макросейсмического обследования сотрудниками сейсмической службы МЧС РА и опросных данных были получены сведения о проявлении землетрясения в 21 населенном пункте Армении (табл. 4, Приложение 3).

Таблица 4. Таблица пунктов-баллов землетрясения 6 июня 2018 г. в 03^h58^m с $M_L=3.6$

№	Пункт	Δ^* , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ^* , км	φ° , N	λ° , E
5–6 баллов					12	Красар	6	41.01	43.82
1	Зуйгахпюр	1	41.02	43.90	4 балла				
2	Кармраван	2	41.01	43.87	13	Амасия	11	40.95	43.78
3	Арташен	3	41.01	43.92	14	Охмик	12	40.91	43.80
4	Ашоцк	4	41.03	43.86	15	Алвар	12	41.03	43.78
5	Мусаелян	5	40.99	43.94	16	Бавра	14	41.12	43.81
5 баллов					17	Крашен	16	40.87	43.96
6	Вардахпюр	4	40.97	43.90	18	Ширак	19	40.83	43.91
7	Салут	6	40.96	43.93	3–4 балла				
8	Мец. Сепасар	7	41.04	43.83	19	Гюмри	25	40.78	43.84
9	Покр. Сепасар	8	41.04	43.81	20	Меграшат	24	40.85	43.69
10	Овуни	17	40.87	43.81	21	Ширакамут	29	40.85	44.16
11	Цохамарг	8	40.94	43.85					

* Расстояние от инструментального эпицентра.

По результатам табл. 4 составлена карта изосейст (рис. 2). Система из четырех изосейст представлена эллипсами, вытянутыми в северо-западном направлении. Координаты эпицентра по макросейсмическим данным, найденные как центр первой изосейсты, составили $\varphi_M=41.02^\circ N$ и $\lambda_M=43.90^\circ E$.

Размерные параметры системы изосейст даны в табл. 5. Землетрясение 6 июня в 03^h58^m имело относительно небольшую площадь распространения: 5-балльная изосейста – 340 км², 4-балльная – 1020 км².

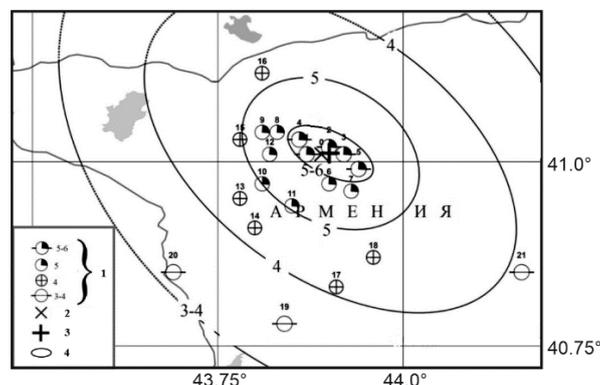


Рис. 2. Карта изосейст землетрясения 6 июня 2018 г. в 03^h58^m с $M_L=3.6$

1 – балльность в населенном пункте, номер рядом со значком соответствует номеру пункта в табл. 4; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – макросейсмический эпицентр; 4 – изосейста.

Таблица 5. Геометрические параметры поля изосейст землетрясения 6 июня в 03^h58^m

I_i , балл	l_a , км	l_b , км	\bar{l} , км	l_a / l_b	S_i , км ²
5–6	6	2.5	3.87	2.4	47
5	13.5	8	10.4	1.7	340
4	26	12.5	18.1	2.1	1020

Примечание. Здесь и в табл. 9, 13 l_a , l_b – продольная и поперечная полуоси; среднее \bar{l} является средним геометрическим $\bar{l} = \sqrt{l_a \cdot l_b}$.

Землетрясение 6 июня в 13^h07^m с $M_L=4.3$

Инструментальные данные. Землетрясение произошло также в Лорийской губернии. Основные его параметры, приведенные в табл. 6, свидетельствуют о небольшом разбросе в его локации разными центрами и более значительных расхождениях в оценках глубины очага ($h=0 \div 23.5$ км).

Таблица 6. Основные параметры землетрясения 6 июня 2018 г. в 13^h07^m с $M_L=4.3$ по данным различных сейсмологических центров

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	δ , км	λ° , E	δ , км	h , км	δh , км		
ТССЗ РА	13 07 15.08	0.20	40.85	3	44.22	3	10	–	$M_L=4.3$, $K_{\text{расч}}=11.7$	[Прил.2]
TIF	13 07 15.7	0.23	40.93	–	44.30	–	11.9	0.6	–	[5]
AFAD	13 07 16.8	0.20	40.85	–	44.21	–	23.5	0.7	$M_w=3.8$	[5]
AZER	13 07 15.6	1.2	41.02	–	44.27	–	4.8	–	$M_L=4.8$	[5]
MOS	13 07 15.4	1.31	40.90	–	44.27	–	1.5	0.3	$MPSP=5.2$	[6]
ISC	13 07 16.0	0.69	40.92	1.5	44.30	1.4	9.6	4.9	$M_s=3.2/19$, $m_b=4.0/23$	[5]
IDC	13 07 15.3	0.54	40.89	11.3	44.31	6.4	0 f	–	$M_s=3.7/12$, $m_b=3.3/27$	[5]

Примечание. См. примечание к табл. 2. AZER – Republican Seismic Survey Center of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan.

Афтершоки описываемого землетрясения весьма заметны в каталоге (Приложение 2), но непродолжительны. В июне их зафиксировано около 30, но уже в июле, так же, как и в сентябре, зарегистрировано всего по три афтершока, а далее, до конца года – по два, хотя занятая ими площадь, оконтуренная по афтершокам первых пяти дней, не мала – $\Delta\varphi=40.80\text{--}41.31^\circ\text{N}$, $\Delta\lambda=44.14\text{--}44.56^\circ\text{E}$. Диапазон расчетных энергетических классов соответствует $\Delta K_{\text{расч}}=4.2\text{--}9.4$, наиболее сильные из них, с $K \geq 8.0$, приведены в табл. 7. Три из них, произошедшие 6 июня в 16^h05^m, 16^h43^m и 19^h03^m, ощущались в Спитаке, Ваназоре и Степанаване с интенсивностью I_i от 3-х до 4-х баллов (Приложение 4).

Таблица 7. Афтершоки с $K_{\text{расч}} \geq 8.0$ землетрясения 6 июня 2018 г. в 13^h07^m с $M_L=4.3$

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	φ° , N	λ° , E	h , км	M_L	$K_{\text{расч}}$
1	06.06	13 07 15.8	40.85	44.22	10	4.3	11.7
2	06.06	16 05 23.4	40.81	44.31	10	2.4	8.3
3	06.06	16 43 14.5	40.84	44.18	10	3.0	9.4
4	06.06	19 03 03.5	40.84	44.21	12	2.9	9.2
5	07.06	16.42.15.5	40.84	44.16	5	2.2	8.0
6	25.12	20 09 03.2	41.01	44.25	5	2.8	9.0

Макросейсмические проявления. Согласно макросейсмическим данным, землетрясение 6 июня 2018 г. в 13^h07^m сопровождалось гулом, люди были напуганы. Интенсивность в эпицентре, рассчитанная по (2) при $M=4.3$ и $h=10$ км из табл. 7, составила $I_{0 \text{ расч}}=6.7$ баллов. В результате макросейсмического обследования сотрудниками сейсмической службы МЧС РА и опросных данных были получены сведения о проявлении землетрясения 6 июня в 13^h07^m в 19 населенных пунктах Армении, представленные в табл. 8 и Приложении 3.

Таблица 8. Таблица пунктов-баллов землетрясения 6 июня 2018 г. в 13^h07^m с $M_L=4.3$

№	Пункт	Δ^* , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ^* , км	φ° , N	λ° , E
6 баллов					11	Курсали	10	40.838	44.335
1	Сараарт	2	40.87	44.21	12	Арчут	13	40.86	44.37
2	Шенован	3	40.86	44.24	13	Дзорашен	15	40.93	44.07
3	Гегасар	3	40.84	44.18	4 балла				
4	Аревашох	5	40.86	44.27	14	Лусахпюр	16	40.86	44.03
5	Гогаран	5	40.89	44.20	15	Степанаван	21	41.00	44.38
6	Спитак	5	40.83	44.27	16	Ванадзор	22	40.81	44.48
5 баллов					3 балла				
7	Джрашен	7	40.79	44.18	17	Геганист	25	40.68	44.02
8	Карадзор	8	40.84	44.32	18	Ширак	26	40.83	43.91
9	Сараландж	11	40.77	44.22	19	Гюмри	33	40.78	43.84
10	Мец. Парни	10	40.83	–					

*Расстояние от инструментального эпицентра.

На основе данных табл. 8 составлена карта изосейст землетрясения 6 июня в 13^h07^m (рис. 3). На карте также представлены исходные данные «пункты-баллы». Все изосейсты главного толчка 6 июня в 13^h07^m и его форшока 6 июня в 03^h58^m ориентированы в направлении юго-восток–северо-запад. Координаты макросейсмического эпицентра составили: $\varphi_M=40.86^\circ N$ и $\lambda_M=44.23^\circ E$ и очень близки к таковым для инструментального эпицентра (рис. 3). Площади сотрясений разной интенсивности землетрясения 6 июня в 13^h07^m приведены в табл. 9. Как видим, полученные площади S_i главного толчка относительно таковых для форшока в 03^h58^m из табл. 5 существенно возросли: для 5 баллов – 903 км² вместо 340 км², для 4 баллов – 2363 вместо 1020, т.е. больше в 2.6 и 2.3 раз.

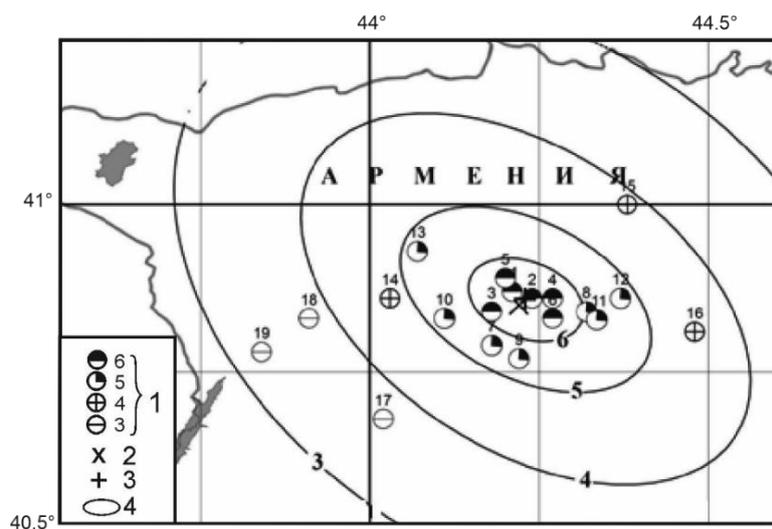


Рис. 3. Карта изосейст землетрясения 6 июня в 13^h07^m с $M_L=4.3$

1 – балльность в населенном пункте, номер рядом со знаком соответствует номеру пункта в табл. 8; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – макросейсмический эпицентр; 4 – изосейста.

Таблица 9. Геометрические параметры поля изосейст землетрясения 6 июня в 13^h07^m с $M_L=4.3$

I_i , балл	l_a , км	l_b , км	\bar{l} , км	l_a / l_b	S_i , км ²
6	7.5	5	6.1	1.5	118
5	25	11	16.9	2.3	903
4	35	21	27.4	1.7	2363

Землетрясение 10 сентября в 16^h22^m с $M_L=4.7$

Инструментальные данные. На рис. 4 приведена запись широкополосной станцией «Гарни» глобальной сейсмической сети IRIS GSN (Приложение 1) землетрясения 10 сентября в 16^h22^m по времени Гринвича (в 20^h22^m по местному) из очаговой зоны Спитак-88. В табл. 10 даны основные его параметры.

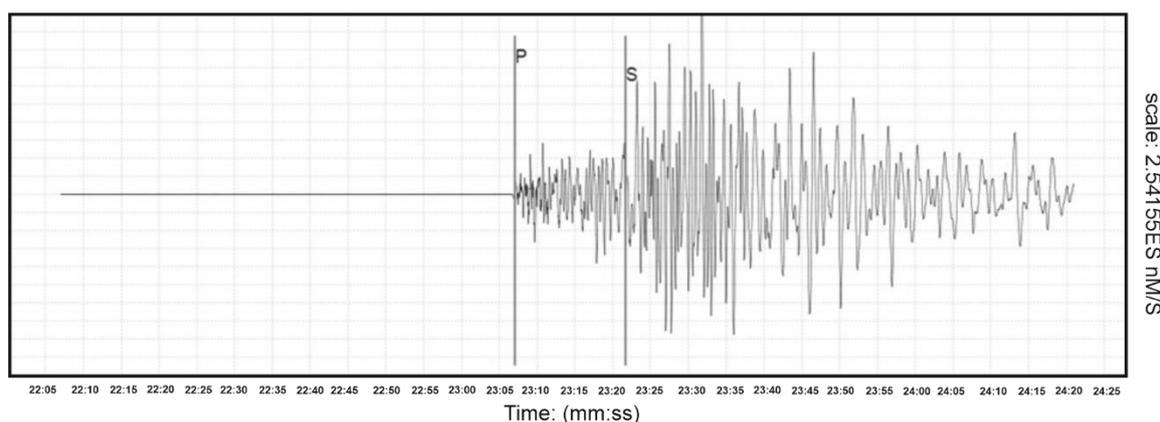


Рис. 4. Запись международной станцией IRIS «Гарни» землетрясения 10 сентября в 16^h22^m с $M_L=4.7$

Таблица 10. Основные параметры землетрясения 10 сентября 2019 г. в 16^h22^m с $M_L=4.7$ по данным различных сейсмологических центров

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	δ , км	λ° , E	δ , км	h , км	δh , км		
TCCC3 PA	16 22 45.8	0.30	40.98	3	44.27	3	10	–	$M_L=4.7$, $K_{расч}=12.5$	(Прил. 2)
TIF	16 22 44.7	0.32	41.09	–	43.93	–	16.4	0.7	–	[5]
AFAD	16 22 45.4	0.7	41.02	–	43.89	–	7.6	4.5	$M_W=4.7$	[5]
AZER	16 22 47.4	1.2	41.06	–	44.06	–	10.0	–	$M_I=5.1$	[5]
MOS	16 22 46.5	0.93	41.10	–	43.92	–	5.0	0.3	$MPVA=5.4$, $K_P=12.1$	[6]
ISC	16 22 46.3	0.81	41.08	1.8	43.95	1.5	9.5	5.4	$M_S=4.0/57$, $m_b=4.7/129$	[5]
IDC	16 22 44.5	0.41	41.01	8.6	43.93	5.7	0 f	–	$M_S=3.9/52$, $m_b=4.2/26$	[5]
GCMТ	16 22 48.2	0.20	41.09	–	43.92	–	16.9	1.4	$M_W=4.8/98$	[5]

Примечание: см. Примечание к табл. 2, 6. GCMТ – Global CMT Project, Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, USA.

Форшок и афтершоки. Утром в этот же день, в 10^h58^m, севернее главного толчка зарегистрирован слабый форшок с $M_S=1.0$ ($K=5.8$), а через 2 минуты после главного толчка, в 16^h24^m, произошел первый сильный афтершок с $M_S=3.9$, $K_P=11.0$. За ним до конца суток реализовалось еще 11 слабых афтершоков с $M_S=0.8–1.8$, $K_P=5.4–7.2$. Затем, с 17 сентября по 13 декабря, на площадке с $\Delta\varphi=40.90^\circ–41.20^\circ N$, $\Delta\lambda=43.86^\circ–44.20^\circ E$ последовали еще 89 толчков, составив в сумме свыше 100 афтершоков с $M_S=0.4–3.9$, ($K_P=4.7–11.0$). Все они выделены в каталоге меткой «афт» (Приложение 2).

В табл. 11 приведены основные параметры афтершоков с $K_P \geq 9.6$ землетрясения 10 сентября 2019 года. Три из них ощущались: в 16^h24^m и в 17^h16^m 10 сентября и в 00^h45^m –11 сентября. Толчок в 16^h24^m вызвал 5-балльные сотрясения в Зуйгахпуре, Ашоцке, Бавре, 4-балльные в Ама-сии, Какавасаре, Дзорашене и 3-балльные в Гюмри, Ширакамуте (Приложение 3).

Таблица 11. Афтершоки с $K_P \geq 9.6$ землетрясения 10 сентября 2019 г. в 16^h22^m

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	φ° , N	λ° , E	h , км	M_L	$K_{расч}$
1	10.09.2019	16 24 39.89	41.09	43.93	8	3.9	11.0
2	– “ –	17 00 15.4	41.09	43.91	10	3.3	9.9
3	– “ –	17 13 53.9	41.09	43.93	10	3.2	9.8
4	– “ –	17 16 34.8	41.01	44.19	10	3.1	9.6
5	– “ –	17 29 38.6	41.10	43.92	10	2.4	8.3
6	– “ –	20 21 19.5	41.06	44.20	10	2.4	8.3
7	11.09.2019	00 45 22.1	41.04	44.11	10	3.1	9.6

Макросейсмический эффект землетрясений 10 сентября 2019 г. Землетрясение 10 сентября в 16^h22^m с $M_L=4.7$ сопровождалось сильным повторным толчком с $M_L=3.9$, произошедшим

через 2 минуты, в 16^h24^m, на расстоянии 30 км к северо-западу, который мог усугубить последствия более сильного толчка. В каталоге (Приложение 2) он отнесен к афтершокам, хотя его удаленность от главного события ставит это под сомнение. В таблице «пункты-баллы» (Приложение 3) воздействия землетрясений 10 сентября в 16^h22^m и 16^h24^m представлены отдельно.

По отзывам населения, характер проявления первого толчка 10 сентября совпадает с описанием предыдущих землетрясений. Землетрясение сопровождалось гулом и вызвало большой испуг у населения. Жители очаговой зоны очень боялись заходить в свои дома, даже население в г. Гюмри, в 41 км от эпицентра, всю ночь находилось на улице. Сильных повреждений построек не наблюдалось, т.к. после разрушительного Спитакского землетрясения 1988 г. большая часть населенных пунктов эпицентральной зоны застроена заново по новым строительным нормам для высокосейсмичной зоны. Непосредственно после землетрясения в Гюмрийскую службу МЧС приехал губернатор Ширакской губернии и по своим каналам получал информацию из центров и деревень. Были повреждены некоторые аварийные дома, которые давно покинули жители. На рис. 5 для примера приведен снимок поврежденного дома 4-го разряда в г. Амасии, где сотрясения оценены в 5 баллов (табл. 12).

Все собранные в населенных пунктах макросейсмические данные землетрясения 10 сентября в 16^h22^m с $M_L=4.7$, сведенные в табл. 12, представлены также на карте изосейст (рис. 6).



Рис. 5. Фрагмент поврежденного дома 4 разряда в г. Амасии

Таблица 12. Макросейсмические проявления землетрясения 10 сентября 2019 г. в 16^h22^m с $M_L=4.7$

№	Пункт	Δ^* , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ^* , км	φ° , N	λ° , E
6 баллов					14	Гюмри	41	40.79	43.85
1	Степанаван	10	41.01	44.38	15	Бавра	42	41.12	43.81
2	Сараарт	13	40.87	44.21	16	Азатан	47	40.72	43.83
3	Ташир	16	41.12	44.28	4 балла				
4	Спитак	16	40.83	44.27	17	Артик	47	40.62	43.97
5	Ширакамут	17	40.85	44.16	18	Маралик	56	40.58	43.87
6	Гюлакарак	17	40.97	44.47	19	Дилижан	57	40.74	44.87
7	Дзорашен	18	40.93	44.07	20	Сарнахпюр	59	40.52	43.91
5 баллов					21	Лусахпюр	64	40.41	44.37
8	Какавасар	22	40.92	44.02	3 балла				
9	Ванадзор	27	40.80	44.49	22	Агарак	75	40.30	44.28
10	Зуйгахпюр	31	41.02	43.90	23	Иджеван	75	40.88	45.15
11	Туманян	32	41.00	44.65	24	Каракерт	90	40.24	43.82
12	Ашоцк	35	41.04	43.86	25	Ереван	91	40.18	44.52
13	Амасия	41	40.96	43.79					

* Расстояние от инструментального эпицентра.

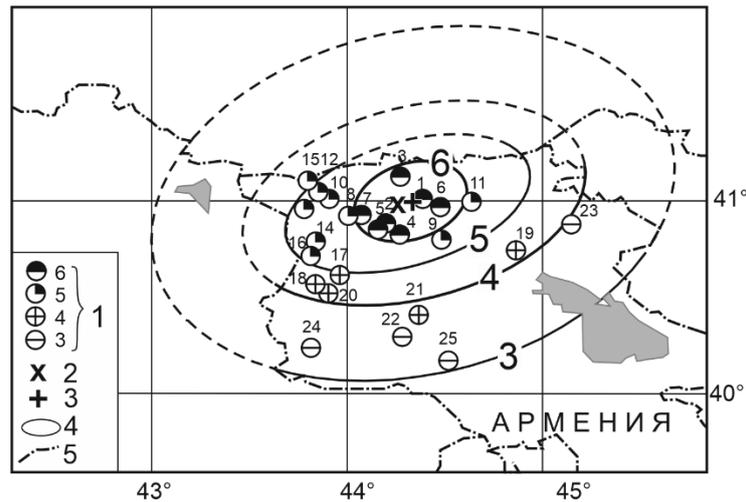


Рис. 6. Изосейсты землетрясения 10 сентября 2019 г. в 16^h22^m с $M_L=4.7$

1 – балльность в населенном пункте, номер рядом со значком соответствует номеру пункта в табл. 12; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – макросейсмический эпицентр; 4 – изосейста; 5 – государственная граница.

Ориентация системы изосейст на рис. 6 кардинально отличается от двух предыдущих (рис. 2, 3), т.к. она почти близширотна, как и 6-балльная изосейста 10-балльного Спитакского землетрясения 1988 г. [7], с небольшой вытянутостью в направлении с запад–юго-запада на восток–северо-восток. Еще большими стали геометрические параметры поля изосейст, приведенные в табл. 13. Координаты макросейсмического эпицентра определены как центр 6-балльной изосейсты: $\varphi_M=41.0^\circ N$ и $\lambda_M=44.35^\circ E$.

Таблица 13. Геометрические параметры поля изосейст землетрясения 10 сентября 2019 г. с $M_L=4.7$

I_i , балл	ℓ_a , км	ℓ_b , км	$\bar{\ell}$, км	ℓ_a/ℓ_b	S_i , км ²
6	26	20	23	1.3	1634
5	57	34	37	1.7	6088
4	78	55	66	1.4	13477
3	118	95	106	1.3	35217

Землетрясение 10 сентября 2019 г. в 16^h22^m имело гораздо большую площадь распространения относительно приведенных в табл. 5 и 9 площадей: 6 балльная изосейста – 1634 км², 5 балльная – 6088 км², 4 балльная – 13477 км², 3 балльная – 35217 км², т.е. примерно в 10 раз большую, чем первый толчок 6 июня (табл. 5).

Для толчка 10 сентября 2019 г. в 16^h24^m с $M_L=3.9$ собраны сведения о его проявлениях в восьми населенных пунктах (табл. 14) с максимальной интенсивностью 5 баллов в трех ближайших (табл. 14).

Таблица 14. Макросейсмические проявления землетрясения 10 сентября 2019 г. в 16^h24^m с $M_L=3.9$

№	Пункт	Δ^* , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ^* , км	φ° , N	λ° , E
5 баллов					5	Какавасар	20	40.92	44.02
1	Зуйгахпюр	8	41.02	43.90	6	Дзорашен	21	40.93	44.07
2	Ашоцк	8	41.04	43.86	3 балла				
3	Бавра	11	41.12	43.81	7	Ширакамут	33	40.85	44.16
4 балла					8	Гюмри	34	40.79	43.85
4	Амасия	19	40.96	43.78					

* Расстояние от инструментального эпицентра.

Система изосейст для этого землетрясения не строилась из-за небольшого количества данных об ощутимости и их невысокой надежности, обусловленной наложением эффектов двух землетрясений 10 сентября 2019 года.

Механизмы очагов описанных выше землетрясений 6 июня 2018 г. и 10 сентября 2019 г. представлены в табл. 15. В качестве исходных данных использовались знаки смещений первых вступлений *P*-волн на станциях ТССЗ РА и на станциях соседних государств. Расчеты проведены по программе FM (focal mechanism). Для землетрясения № 3 в табл. 15 приведен также механизм очага по данным GCMТ (см. расшифровку в примечании к табл. 10).

Таблица 15. Параметры механизмов очагов землетрясений 6 июня 2018 г. в 03^h58^m и 13^h07^m и 10 сентября 2019 г. в 16^h22^m и 16^h24^m согласно Приложению 4

№	Дата, д м год	t_0 , ч мин	h , км	M_L	$K_{расч}$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Агент- ство
						<i>T</i>		<i>N</i>		<i>P</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>			
						<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	
1	06.06.2018	03 58	10	3.6	10.5	20	8	30	110	53	251	59.3	36.9	-147.1	302.0	71	-57.8	ТССЗ
2	06.06.2018	13 07	10	4.3	11.7	20	3	30	105	53	243	59.3	35.9	-147.2	295.8	71.5	-58.7	ТССЗ
3	10.09.2019	16 22	10	4.7	12.5	46	253	38	111	20	5	50.7	41.6	23.2	302.9	74.8	129.2	ТССЗ
–“–	–“–	–“–	–“–	–“–	–“–	20	99	57	222	26	360	48	86	-33	141	57	-175	GCMТ
4	10.09.2019	16 24	8	3.9	11.0	14	316	4	49	76	153	43.3	31.4	-96.9	231.3	58.8	-85.8	ТССЗ

На рис. 7 приведены диаграммы фокальных механизмов рассмотренных землетрясений в проекции нижней полусферы. Среди полученных решений механизмов преобладают движения типа сброса (№ 4) или сброса с компонентами сдвига (№ 1, 2). Главный толчок 10 сентября 2019 г. (№ 3) отличается по типу механизма от остальных событий в табл. 15 преобладанием сдвига в очаге и наличием в решении ТССЗ взбросовых компонент, причем в решении GCMТ для этого толчка в подвижке преобладает сдвиг, но присутствуют и компоненты сброса.

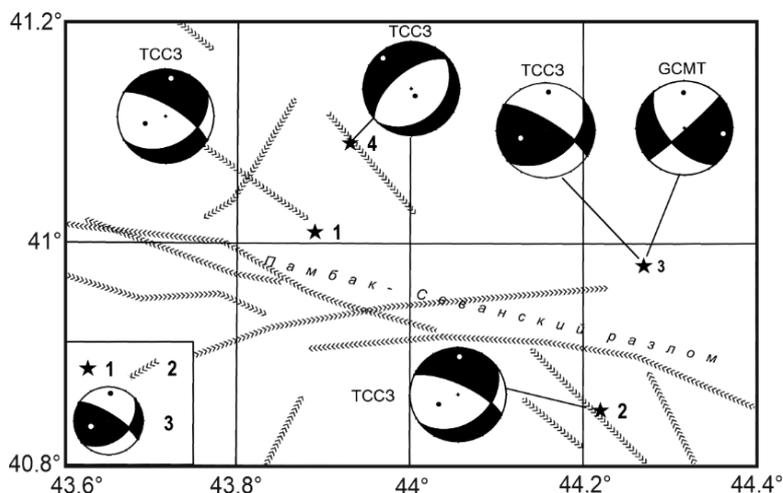


Рис. 7. Диаграммы фокальных механизмов землетрясений 6 июня 2018 г., в 03^h58^m с $M_L=3.6$ (№ 1) и в 13^h07^m с $M_L=4.3$ (№ 2) и 10 сентября 2019 г., в 16^h22^m с $M_L=4.7$ (№ 3) и в 16^h24^m с $M_L=3.9$ (№ 4)

1 – эпицентр землетрясения, номер соответствует номеру события из табл. 15; 2 – разлом; 3 – диаграмма механизма очага в проекции нижней полусферы (зачернены области сжатия), рядом указан код агентства (ТССЗ – Территориальная Служба Сейсмической Защиты МЧС Республики Армения; GCMТ – см. примечание к табл. 10).

Отметим, что в решениях механизма очага для всех событий, кроме толчка № 4, присутствуют плоскости разрыва как северо-западного, так и северо-восточного простирания. Чтобы выбрать действующую плоскость разрыва, обратим внимание, что основная ориентация разломов Памбак-Севанской системы – СЗ–ЮВ. Так же ориентированы первые изосейсты землетрясений 6 июня 2018 г. (рис. 2 и 3) и нодальные плоскости *NP2* их механизмов очагов (№ 1 и № 2 в табл. 15 и на рис. 7), что позволяет выбрать их в качестве плоскостей, вдоль которых произошла подвижка при этих событиях. Для сильного землетрясения 10 сентября 2019 г. в 16^h22^m (№ 3) ориентация изосейст на рис. 6, а также ближайший поперечный разлом поддерживают нодальную плоскость *NP1* ВСВ простирания. В очаге следующего толчка 10 сентября в 16^h24^m (№ 4) произошел сброс по плоскости северо-восточного простирания, перпендикулярной ориентации разлома, к которому он приурочен.

Заключение. Реализация землетрясений 6 июня 2018 г. с $M_L=3.6$, $M_L=4.3$ и 10 сентября с $M_L=4.7$, $M_L=3.9$ подтверждает продолжающую сейсмическую активность очаговой зоны 10-балльного Спитакского землетрясения вплоть по настоящее время. Удалось построить карты изосейст и определить геометрические параметры макросейсмических полей для трех землетрясений. Простираение нодальных плоскостей разрывов в очагах исследуемых землетрясений согласуется с направлением вытянутости системы изосейст, которое, в свою очередь, для трех событий совпадает с простираением ближайших разломов Памбак-Севанской системы.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: Г.В. Саргсян, Г.Р. Абгарян, К.Л. Хачкалян, Г.А. Бабаджанян, А.А. Геворгян, В.И. Левина, Е.В. Артёмова, Г.М. Бахтиярова, Н.А. Лукаш, Р.С. Михайлова.

Электронное приложение App03b_Armenia_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Сейсмические станции, работавшие в Армении в 2018–2019 гг.; 2 – Каталог землетрясений Армении за 2018–2019 гг.; 3 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Армении в населенных пунктах за 2018–2019 гг.; 4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Армении за 2018–2019 гг.

Л и т е р а т у р а

1. 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.
2. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
3. 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.
4. Lee W.H.K., Lahr J.C. HYPO-71 (Revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pating of local earthquakes // USGS Survey. Open-file report. – 1975. – P. 75–311.
5. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2018–2019. (2023) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018
7. Гедакян 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. 74–87.

A SERIES of TANGIBLE EARTHQUAKES in 2018–2019 in the FOCAL ZONE of the 10-point SPITAK EARTHQUAKE of 1988

G.V. Sargsyan¹, G.R. Abgaryan¹, A.A. Grigoryan¹, N.V. Petrova²

¹*Regional Seismic Protection Service of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia, Gyumri, Armenia, ovash@yandex.ru*

²*Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, Russia, npetrova@gsras.ru*

Abstract. The paper presents the results of a study of 2018–2019 tangible seismic events with intensity at the epicenter of 5–6 points and above, that occurred in the focal zone of the 10-point Spitak earthquake of 07.12.1988 with $MLH=6.8$. Two earthquakes of June 6, 2018, with $M_L=3.6$ and $M_L=4.3$, as well as two shocks on September 10, 2019, with $M_L=4.7$ and with $M_L=3.9$, were felt in the nearest settlements with an intensity of 5 or more points. For three of them, according to the collected macroseismic data, isoseist maps were constructed and macroseismic parameters were determined. The strike of the nodal planes in the earthquake sources is consistent with the direction of elongation of the isoseist system, which, in turn, for three events coincides with the strike of the nearest faults of the Pambak-Sevan system.

Keywords: Armenia, instrumental observations, aftershock, focal mechanism, macroseismic data, isoseist.

For citation: Sargsyan, G.V., Abgaryan, G.R., Grigoryan, A.A., & Petrova, N.V. (2023). [A series of tangible earthquakes in 2018–2019 in the focal zone of the 10-point Spitak earthquake of 1988]. *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

R e f e r e n c e s

1. Gabrielyan, A.A., Sargsyan, O.A., & Simonyan, G.P. (1981). 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.
2. 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.).
3. Shebalin, N.V. (1977). [Reference earthquakes and macroseismic field equations]. In *Novyi catalog 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.).
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. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2018–2019. (2023). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
7. Geodakyan, E.G., Golinskiy, G.L., Papalashvili, V.G., Chromeckaya, E.A., & Shebalin, N.V. (1991). [The Spitak earthquake on December 7, 1988, isoseist maps]. In *Zemletriasenia v SSSR v 1988 godu* [Earthquake in the USSR in 1988] (pp. 74–86). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).