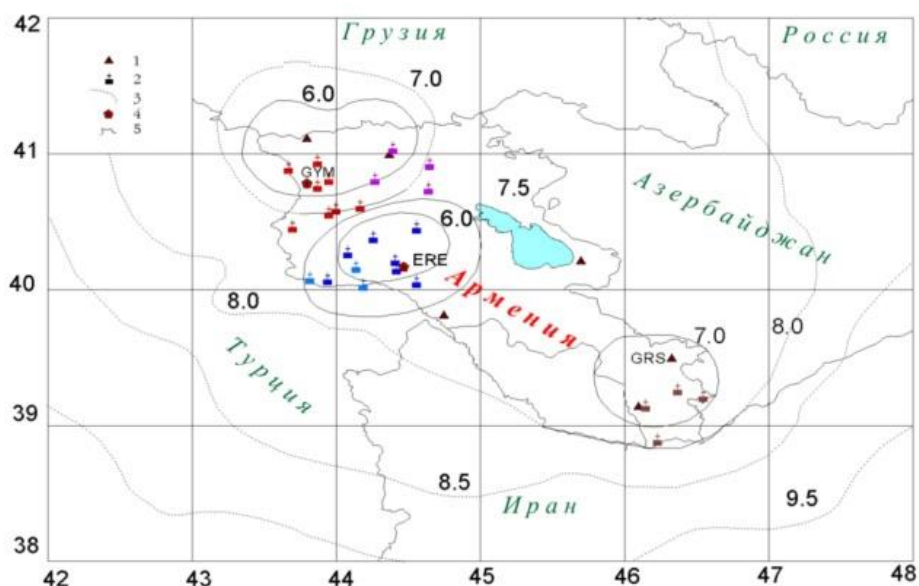


АРМЕНИЯ

Г.В. Саргсян, Г.Р. Абгарян, Э.А. Мугнецян, А.А. Геворгян

Агентство Национальной службы сейсмической защиты Республики Армения,
г. Ереван, heghinesar@mail.ru

Сеть сейсмологических наблюдений в 2011 г. на территории Республики Армения, по сравнению с таковой в 2010 г. [1], не изменилась и состояла из семи аналоговых и 28-ми телеметрических станций. Из действующих аналоговых сейсмических станций остались «Бавра», «Ленинакан», «Степанаван», «Варденис», «Горис», «Степанакерт» и «Мардакерт». После обмена информацией в двух центрах, Ереване и Гюмри, составляются сводные сейсмологические бюллетени, а затем каталог землетрясений Кавказа. Отметим, что в 2011 г. сеть станций работала с перебоями, особенно на юге республики и в Нагорном Карабахе. Положение всех станций и обеспечиваемая ими энергетическая представительность K_{\min} землетрясений показаны на рис. 1. Как видим, уровень представительной регистрации землетрясений в 2011 г. для всей территории Армении равен $K_{3\min}=7.5$, а за ее пределами – $K_{3\min}=9.5$.

Рис. 1. Карта K_{\min} на территории Армении в 2011 г.

1, 2 – аналоговая и телеметрическая сейсмическая станции соответственно; 3 – изолиния K_{\min} ; 4 – центр сбора и обработки данных; 5 – государственная граница.

Методы определения основных параметров землетрясений те же, что и в [1]. После апробации программы, разработанной по GIS-технологии, ее ввели в обработку для определения основных параметров землетрясений (методом засечек) для территории Кавказа. Для всех землетрясений использовались данные аналоговой и телеметрической сетей НССЗ РА. Для более сильных событий 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 (IIIES) и Кандилийской обсерватории научно-исследовательского института по изучению землетрясений (KOERI) в Иране. При локации землетрясений на юге республики Армения дополнительно использовались данные национальной сети Ирана. Магнитуды M_s землетрясений определялись по максимальному смещению в S -волне и соответствующему периоду T по номограмме.

Обработка землетрясений в основном проводилась машинным способом по программе НУРО-71 [2] для ближней зоны и ручным – методом засечек и изохор. Общее число зарегистрированных землетрясений сетью НССЗ РА в 2011 г. около 2000, 40 % из которых не обработано из-за нехватки данных, а 20 % из оставшихся – неклассные. В итоге число землетрясений в пределах координат $\varphi=38.00-41.55^\circ\text{N}$, $\lambda=42.00-48.00^\circ\text{E}$ оказалось равным $N_{\Sigma}=829$ [3]. Составлен также каталог механизмов очагов для 35-ти землетрясений [4].

Для классификации землетрясений в оригинале каталога [3] использованы две величины: магнитуда M_s [5] и энергетический класс K_p по шкале Т.Г. Раутиан [6]. Согласно анализу *ред.*, магнитуды M_s в диапазоне $M_s=2.2-7.4$ проставлены в оригинале каталога [3] лишь для 534 землетрясений из 829, причем, почти все магнитуды M_s пересчитаны затем в значения энергетических классов K_p по известной формуле Т.Г. Раутиан из [7]:

$$K=4+1.8 M.$$

и поставлены в графу « K_p ». Для оставшихся землетрясений даны реальные энергетические классы, измеренные по записям аналоговых станций. Их диапазон равен $K_p=4.0-9.2$ и локализованы они, в основном, в районах № 8 и № 9 (по [8]) на территории Армении.

Как и ранее [1], в оригинал каталога [3] в *ред.* были добавлены несколько граф с магнитудами: MS (MOS), $MPSP$ (MOS) из [9], M_s (ISC), m_b (ISC), M_d (ISK), ML (ISK), ML (THE), ML (THR) из [10] и графа источников других решений параметров конкретного землетрясения как в международных сводках [9, 10], так и в каталогах соседних государств СНГ [11, 12]. В итоге был получен дополненный вариант каталога [13], публикуемый в наст. ежегоднике на CD. Число землетрясений из-за обнаруженных ошибок уменьшилось в нем на 4 и равно $N_{\Sigma}=825$. Кроме того, были составлены дополнительные листы каталога, содержащие сведения о сейсмических станциях [14], макросейсмическом эффекте ощутимых землетрясений [15] и названиях сотрясенных в 2011 г. населенных пунктов Республики [16] с указанием их географических координат.

Каталог [13] включает землетрясения с эпицентрами непосредственно на территории Армении и сопредельных государств – Азербайджана и Грузии, а также землетрясения Турции и Ирана. Их распределение по классам дано в табл. 1.

Таблица 1. Распределение зарегистрированных в Армении землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарная высвобожденная энергия (ΣE , Дж) для территории республики Армения и сопредельных государств ($\varphi=38.00-41.55^\circ\text{N}$, $\lambda=42.00-48.00^\circ\text{E}$) за 2011 г.

Республика	K_p									N_{Σ}	ΣE , Дж
	5	6	7	8	9	10	11	12	≥ 13		
Армения	15	58	65	40	10	4	1	1		194	$6.343 \cdot 10^{11}$
Азербайджан		2	2	33	27	9	5	1		79	$1.079 \cdot 10^{12}$
Нахичеванская Республика			5	6	3					14	$3.919 \cdot 10^9$
Грузия		5	21	48	34	12	1			121	$2.701 \cdot 10^{11}$
РФ					2		2			4	$3.678 \cdot 10^{11}$
Турция	1	7	21	67	95	37	21	50	15	314	$2.008 \cdot 10^{17}$
Иран		1	3	17	48	28	1	1		99	$2.094 \cdot 10^{11}$
Всего	16	73	112	205	216	90	31	52	15	825	$2.008 \cdot 10^{17}$

Сейсмичность территории Республики Армения рассмотрим отдельно, используя 194 землетрясения из первой строки табл. 1 и карту их эпицентров на рис. 2.

Как видим, на рис. 2 сейсмически активна северо-западная часть Армении в очаговой зоне Спитакского землетрясения 07.12.1988 г. с $K_p=16.5$ [17], $MLV=6.9$ [18], $I_0=9-10$ баллов [19]. По крайней мере, именно здесь, в пограничной области Грузии–Армении, 27 сентября в 08^h58^m зарегистрировано самое сильное ($K_p=11.7$) землетрясение на территории Республики в 2011 г. [13]. Оно ощущалось с интенсивностью до 4-х баллов в Пахахпюре (10 км), Дзюнашохе (6 км), Бавре (18 км), Метаване (19 км), Ашотцке (22 км) и до 3-х баллов – в Гюмри (45 км), Степанаване (39 км), Алаверди (58 км) [15]. Многие в Гюмри ощущали его как удар снизу, без колебаний люстр. Интенсивность сотрясений ощутимых землетрясений на территории Армении и сопредельных государств оценивалась по шкале MSK-64 [20].

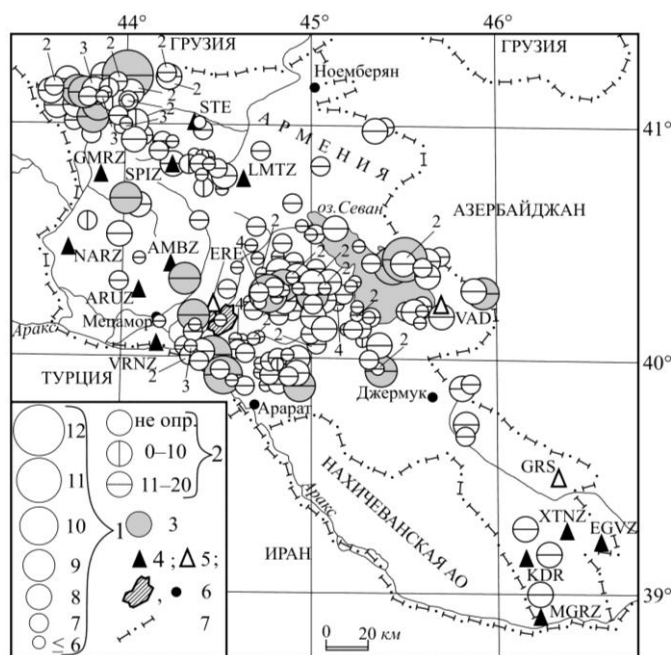


Рис. 2. Карта эпицентров 194 землетрясений в государственных границах Армении за 2011 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – землетрясение с $K_p \geq 8.6$; 4, 5 – цифровая и аналоговая сейсмические станции соответственно; 6 – г. Ереван и иной населенный пункт соответственно; 7 – государственная граница.

В каталоге механизмов [4] для него имеются два решения – НССЗ и NEIC, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов сильных ($K_p=10.8$ и 11.7) землетрясений 11 июня и 27 сентября на территории Армении

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h км	M_S ISC	M_w NEIC	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
							T		N		P		$NP1$		$NP2$			
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
НССЗ РА	11.06	10 54 18.6	10	2.7		10.8	15	53	18*	318*	66	179	308	62	-111	167	34	-55
НССЗ РА	27.09	08 58 51.5	10	3.3		11.7	4	48	66*	148*	23	16	0	77	-20	94	71	-166
NEIC	- " -				4.2		24	111	66*	282*	3	20	153	71	165	248	76	19

Примечание. Знаком * отмечены добавленные *ред.* параметры промежуточной оси N ; данные NEIC взяты из [10].

Согласно решению НССЗ РА [4], в его очаге преобладали близгоризонтальные напряжения растяжения ($PL_1=4^\circ$) северо-восточной ориентации ($AZM=48^\circ$), в результате чего в очаге по обоим крутым (77° и 71°) нодальным плоскостям, ориентированными меридионально и широтно, произошли сдвиги, левосторонний по $NP1$ и правосторонний – по $NP2$, с небольшими сбросовыми составляющими (рис. 3). К сожалению, региональное решение не согласуется с решением NEIC в третьей строке до противоположности: близгоризонтальны, наоборот, напряжения сжатия и поэтому тип движения – сдвиго-взброс.



Рис. 3. Стереогаммы землетрясений 11 июня с $K_p=10.8$ и 27 сентября с $K_p=11.7$ 2011 г.

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Далее из карты эпицентров следует, что сейсмическая активность продолжается в сторону оз. Севан. Здесь, на восточном его берегу, 11 июня в 10^h54^m зарегистрировано второе в году более сильное ($K_p=10.8$) землетрясение [13]. Сведений о его макросейсмическом эффекте нет, но в [4] есть решение механизма его очага. Из табл. 2 и рис. 3 следует, что в его очаге превалировали напряжения растяжения, что вызвало по обоим нодальным плоскостям в основном

сбросовые подвижки с незначительными компонентами сдвига, правостороннего по плоскости $NP1$ и левостороннего – по $NP2$.

Заметное повышение плотности землетрясений наблюдается в широкой диагональной полосе эпицентров как вблизи Еревана, так и в северо-восточном направлении, к побережью оз. Севан. На юго-востоке Республики эпицентры единичны: четыре вблизи г. Джермук и три – на крайнем юге (рис. 2). Количество слабых событий на юге республики мало из-за неполного определения основных параметров землетрясений.

Отметим еще два ощутимых землетрясения в [15], произошедшие:

– 27 февраля в 17^h36^m с $K_p=9.4$, $h=7$ км в районе Ашотцка на северо-западе республики Армения с интенсивностью до 5-ти баллов в эпицентре землетрясения. Оно ощущалось с $I_i=3-4$ балла в Ашотцке (3 км), Бавре (5 км), Красаре (6 км), Зуйгахпоре (7 км); а с $I_i=3$ балла в Гюмри (31 км), Спитаке (50 км), Ванадзоре (62 км).

– 27 декабря в 11^h11^m слабое ($K_p=8.1$) мелкое ($h=6$ км) землетрясение в районе Артика с интенсивностью до 3-х баллов, с гулом.

График повторяемости описанной выше совокупности из 194 землетрясений Армении (рис. 4) построен по числам землетрясений разных классов из первой строки табл. 1.

Уравнение графика повторяемости рассчитано в его линейной части ($K_p \geq 7.6$) в двух вариантах: для диапазона $K_p=8-12$ и с отбросом максимального землетрясения, т.е. для $K_p=8-11$. Соответствующие уравнения имеют вид:

$$\lg N = (4.88 \pm 0.61) - (0.42 \pm 0.06) K_p, \text{ при } K_p = 8-12,$$

$$\lg N = (5.75 \pm 0.27) - (0.52 \pm 0.02) K_p, \text{ при } K_p = 8-11.$$

Из их сопоставления следует, что, во-первых, непосредственно в границах Армении представительны землетрясения, начиная лишь с 8-го класса, с $K_p \geq 7.6$; во-вторых, меньшие ошибки характеризуют второй вариант, с отсечением на графике крайней правой точки, к тому же значение $\gamma = -0.52$ более соответствует среднему показателю по Кавказу, чем заниженное значение $\gamma = -0.42$.

Сейсмичность совокупной территории Армении и сопредельных государств в пределах координат $\varphi=38.00-41.55^\circ N$, $\lambda=42.00-48.00^\circ E$ за 2011 г. представлена картой эпицентров 829 землетрясений из [3] на рис. 5.

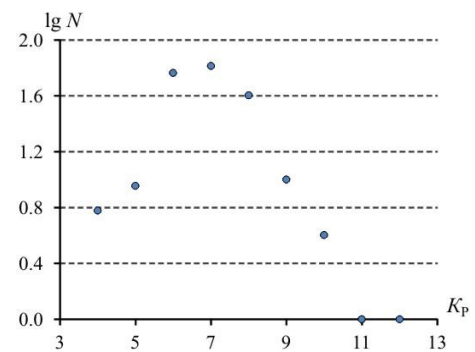


Рис. 4. График повторяемости землетрясений внутри границ Армении в 2011 г.

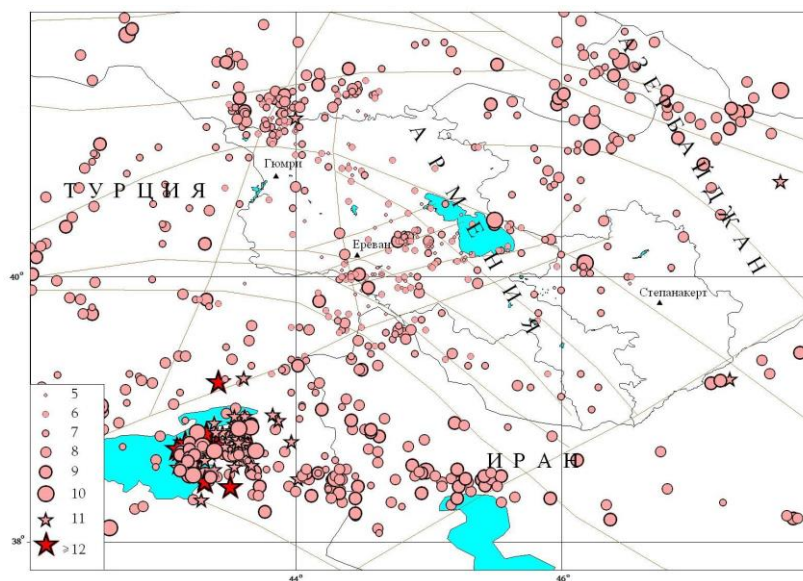


Рис. 5. Карта эпицентров 829 землетрясений территории Армении и сопредельных государств в пределах координат $\varphi=38.00-41.55^\circ N$, $\lambda=42.00-48.00^\circ E$ за 2011 г. из оригинала каталога [3]

Территория Армении оконтурена активной сейсмичностью соседних государств: с запада Турецкими, с юга Иранскими, а с севера – Джавахетскими землетрясениями.

Из ежемесячного распределения землетрясений за 2011 г. в табл. 3 видно, что в марте наблюдается некоторое повышение количества землетрясений, а в остальные месяцы средний уровень сохраняется, кроме октября, с разрушительным Ванским землетрясением 23 октября ($K_p=17.3$, $M_s=7.4$ [21]) и его многочисленными афтершоками (рис. 3).

Таблица 3. Распределение землетрясений по месяцам для территории Республики Армения и сопредельных государств в пределах координат $\varphi=38.00-41.55^\circ N$, $\lambda=42.00-48.00^\circ E$ за 2011 г.

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	N_Σ
N	57	69	79	69	69	31	64	61	53	126	74	77	829

Глубины очагов землетрясений колеблются, в основном, от 5 до 25 км (рис. 7).

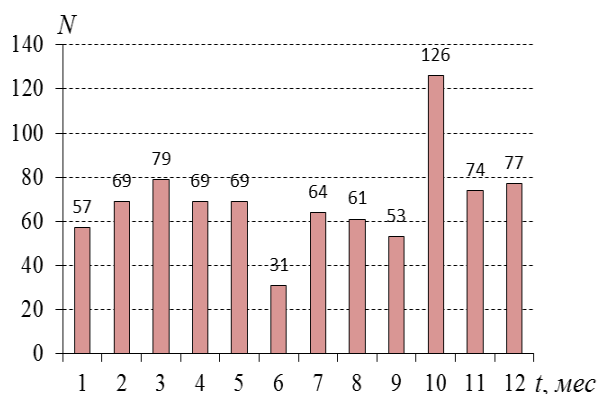


Рис. 6. Ежемесячное распределение числа землетрясений в пределах координат за 2011 г.

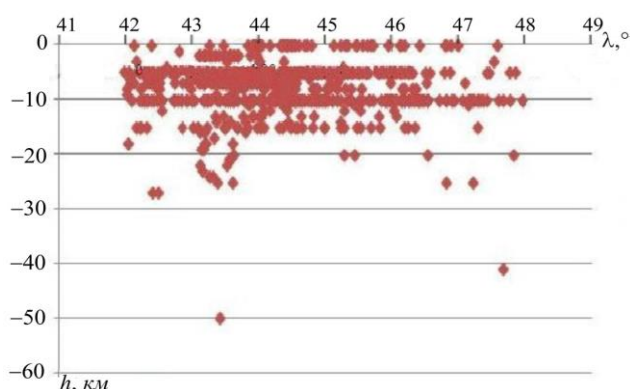


Рис. 7. Проекция глубины очагов землетрясений (h) на восточную долготу λ°

Распределение землетрясений по классам дано в табл. 4 в сопоставлении с аналогичными данными почти за весь период выпуска ежегодников «Землетрясения Северной Евразии». Для этого из [1] заимствована аналогичная таблица за 1993–2010 гг. и дополнена данными из табл. 1 за 2011 г.

Таблица 4. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарной сейсмической энергии ΣE Армении и сопредельных государств в пределах координат $\varphi=38.00-41.55^\circ N$, $\lambda=42.00-48.00^\circ E$ за 1993–2011 гг.

Год	K_p												N_Σ	ΣE , 10^{12} Дж
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17		
1993					8	61	16	7	5				97	4.218
1994					13	65	31	6	4				119	4.482
1995			1	108	78	65	20	11	2				285	2.750
1996	1	3	70	215	142	71	40	11	5	1			559	9.719
1997		2	112	242	122	76	34	15	10				613	12.500
1998		4	65	125	88	84	33	25	6				430	8.632
1999	2	13	149	225	178	104	35	6	5	2			719	13.870
2000		7	77	108	66	49	33	8	4	1			353	8.250
2001	1	9	49	105	77	55	21	9	6	1			333	20.231
2002			38	94	69	46	31	11					289	2.576
2003	1	3	42	106	80	63	22	16	2	3	1		339	70.018
2004	1	3	100	182	87	42	38	13	10		1		477	111.177
2005		2	53	133	91	60	38	29	7	6			419	96.237
2006		4	91	317	190	199	158	17	2	1			979	10.933

Год	K_p													N_Σ	$\Sigma E,$ 10^{12} Дж
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17			
2007		7	123	467	341	482	140	36	13	4	0			1613	39.764
2008				1274	208	119	52	6	2	1				1662	12.37
2009			15	47	123	138	50	14	7					394	9.0
2010			61	79	171	133	43	10						497	1.55
Сумма	9	69	1119	3942	2345	2132	927	282	144	30	6			11006	20508.5
Среднее	0.5	3.8	62.2	219	130.3	118.4	51.5	15.7	8	1.7	0.3			617.4	1139.4
2011	6	10	73	115	213	220	92	32	54	10	4	1		829	20077.6

Несмотря на то, что числа землетрясений максимальны в 2004–2006 гг., суммарная высвобожденная энергия остается почти на одном уровне, кроме 2003–2005 годов.

Расчеты проведены по программе FM (focal mechanism [22]). Выбраны те землетрясения, у которых обильны данные, окружающие эпицентры.

Л и т е р а т у р а

1. Саргсян Г.В., Абгарян Г.Р., Мугнецян Э.А., Геворгян А.А. Армения // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016 – С. 92–101.
2. 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, June. – P. 75–311.
3. Саргсян Г.В. (отв. сост.), Абгарян Г.Р., Айдосян Г.Г., Гонян А.А., Мугнецян Э.А. (сост.). Каталог (оригинал) землетрясений ($N=829$) Армении за 2011 г. – Обнинск: Фонды ГС РАН, 03.06.2016. – 18 с.
4. Геворгян А.А. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Армении за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
5. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
6. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. (Труды ИФ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
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. Цхакая А.Д., Джибладзе Э.А., Папалашвили В.Г., Султанова З.З., Лебедева Т.М., Табуцадзе Ц.А., Дарахвелидзе Л.К., Кахиани Л.А., Лабадзе Л.В., Алимамедова В.П. Землетрясения Кавказа // Землетрясения в СССР в 1969 году. – М.: Наука, 1973. – С. 19–28.
9. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2011 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2011–2012. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2011.
10. International Seismological Centre (ISC), On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
11. Етирмишли Г.Д., Абдуллаева Р.Р., Исмаилова С.С. (отв. сост.), Казымова С.Э., Расулова З.М., Мамедова М.К., Абдуллаева Э.Г., Саидова Г.Е., Исламова Ш.К. (сост.). Каталог землетрясений Азербайджана с $K_p \geq 8.6$ в государственных границах +30 км за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
12. Габсатарова И.П., Головкова Л.В., Асманов О.А., Девяткина Л.В., Цирихова Г.В. (отв. сост.), Абдуллаева А.Р., Александрова Л.И., Амиров С.Р., Артёмова Е.В., Гамидова А.М., Иванова Л.Е., Калоева И.Ю., Киселева О.А., Лещук Н.М., Малянова Л.С., Морозова Я.Н., Мусалаева З.А., Петросян Э.Н., Сагателова Е.Ю., Селиванова Е.А. (сост.). Каталог землетрясений и взрывов Северного Кавказа за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
13. Саргсян Г.В. (отв. сост.), Абгарян Г.Р., Айдосян Г.Г., Гонян А.А., А.Г., Мугнецян Э.А. (сост.). Каталог землетрясений Армении в государственных границах +30 км за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
14. Саргсян Г.В. (сост.). Сейсмические станции, работавшие в Армении в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.

15. **Саргсян Г.В. (отв. сост.), Михайлова Р.С., Артёмова Е.В., Левина В.И. (сост.).** Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Армении за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
16. **Саргсян Г.В., Артёмова Е.В., Пойгина С.Г., Бахтиарова Г.М. (сост.).** Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Армении за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
17. **Папалашвили В.Г. (по региону), Агаларова Э.Б. (АзССР), Кахрани Л.А. (ГССР), Саргсян Г.В. (АрмССР), Габсатарова И.П., Мусалаева З.А. (Даг.) и др.** Каталог землетрясений Кавказа за 1988 год // Землетрясения в СССР в 1988 году. – М.: Наука, 1991. – С. 236–247.
18. **Кондорская Н.В., Вандышева Н.В., Захарова А.И., Саргсян Г.В., Чепкунас Л.С.** Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. Инструментальные данные // Землетрясения в СССР в 1988 году. М.: Наука, 1991. – С. 60–73.
19. **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. 74–86.
20. **Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64 // Сейсмическое районирование СССР (Ред. С.В. Медведев). – М.: Наука, 1968. – С. 158–162.
21. **Саргсян Г.В., Абгарян Г.Р., Мхитарян К.А., Макарян А.Г., Гонян А.А.** Макросейсмические проявления в Армении Ванского разрушительного землетрясения 23 октября 2011 г. с $K_p^P=17.3$, $M_w=7.1$, $I_0=9-10$ (Турция) // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 436–441.
22. **Vince Cronin.** A Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists, Baylor University: 2010. – 14 p.