

**ВОСТОЧНО-ЧЕРНОМОРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 23 декабря 2012 г.**с  $K_p=14.1$ ,  $M_{w_{\text{пер}}}=6.0$ ,  $M_{\text{ГСМТ}}=5.8$ ,  $I_0^P=7-8$  (Чёрное море, Абхазия)

И.П. Габсатарова, Е.А. Карпович, Л.Н. Королецки, А.С. Войтова, О.П. Каменская

ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, [ira@gstras.ru](mailto:ira@gstras.ru)

**Аннотация.** Приводятся инструментальные и макросейсмические данные о Восточно-Черноморском землетрясении 23 декабря 2012 г. с  $K_p=14.1$ ,  $M_{w_{\text{ГСМТ}}}=5.8$ , произошедшем в Чёрном море в 25–30 км от берегов Абхазии. Это землетрясение стало сильнейшим в юго-восточной части Чёрного моря за весь исторический и инструментальный периоды. Известные исторические землетрясения имели меньшие магнитуды. Район землетрясения в пределах прослеживания континентальных структур на шельф может быть отнесен к Адлерско-Абхазской краевой структурно-фациальной зоне, а конкретнее – к Южно-Гудаутской флексурной зоне. Землетрясение уникально большой последовательностью афтершоков. В 2012 г. зарегистрировано 167 афтершоков с  $K_p=5.2-13.0$ , представительный уровень  $K_{\text{мин}}=7.5$ . Для оценки более точного положения гипоцентров применен метод двойных разностей. Оценки погрешностей координат гипоцентров афтершоков составили: по широте  $\delta\varphi=1.6$  км, по долготе  $\delta\lambda=1.6$  км, по глубине  $\delta h=2$  км. Основная масса афтершоков произошла на глубинах 7–15 км ( $\bar{h}=11\pm 4$  км). Основной толчок и его максимальный ( $K_p=13.0$ ) афтершок располагались на глубинах на  $h_0=7\pm 2$  км и  $h_a=8\pm 2$  км. Облако афтершоков вытянуто на северо-запад вдоль одного из региональных разломов. Главный толчок и максимальный афтершок находятся на юго-западном фланге области. По данным разных центров построен механизм очага главного толчка и максимального афтершока. Получен сдвиговый тип движения в очаге. Распределение числа афтершоков во времени носит сложный характер и, возможно, объясняется частично (23 % афтершоков) триггерным характером. Закон Бота о соотношении магнитуд главного толчка и максимального афтершока не выполняется. Сложность афтершокового процесса подтверждается бимодальным распределением значения отношения амплитуд в  $P$ - и  $S$ -волнах  $A_{S_{\text{max}}}/A_{P_{\text{max}}}$  и нестабильностью значения наклона графика повторяемости  $\gamma_a$  в различные периоды времени. Собранные макросейсмические данные, представленные на карте «пункты-баллы», малочисленны, что не позволило построить карту изосейст.

**Abstract.** The instrumental and macroseismic data on the East Black Sea earthquake on December 23, 2012 from  $K_p=14.1$ ,  $M_{w_{\text{ГСМТ}}}=5.8$ , which occurred in the Black Sea in 25–30 km from the coast of Abkhazia are given. This earthquake became the strongest in the southeastern part of the Black Sea for the entire historical and instrumental periods. Known historical earthquakes had smaller magnitudes. The area of the earthquake within the limits of tracking the continental structures to the shelf can be attributed to the Adler-Abkhaz regional structural-facies zone, and more specifically to the South Gudauta flexure zone. The earthquake is a unique large sequence of aftershocks. In 2012, 167 aftershocks with  $K_p=5.2-13.0$  were registered, the representative level was the  $K_{\text{мин}}=7.5$ . For a more accurate position of the hypocenter the double difference method is used. Estimations of errors in the coordinates of hypocenter aftershocks were: latitude  $\delta\varphi=1.6$  km, longitude  $\delta\lambda=1.6$  km, depth  $\delta h=2$  km. The bulk of aftershocks occurred at depths of 7–15 km ( $\bar{h}$  aver=11.4 km). The main shock and its strongest aftershock were located at depths of  $h=7\pm 2$  km and  $h=8\pm 2$  km. The «cloud» of the aftershocks is stretched to the northwest along one of the regional faults. The main shock and the strongest aftershocks are on the south-western flank of the region. According to the data of different centers, the mechanism of the focus of the main shock and the strongest earthquake aftershock was constructed as strike-slip type of motion in the source. The distribution of the number of aftershocks in time is complex and, perhaps, partly explained by the trigger character (23 % of aftershocks). The law of Bath on the relationship between the magnitudes of the main shock and the strongest aftershock is not fulfilled. The complexity of the aftershock field is confirmed by the bimodal distribution of the parameter of the amplitude ratio in the  $P$ - and  $S$ -waves  $A_{S_{\text{max}}}/A_{P_{\text{max}}}$  and the instability of the slope of the repeatability curve at different time periods. The collected macroseismic data are represented on the points-balls map, but they did not allow the construction of an isolines map.

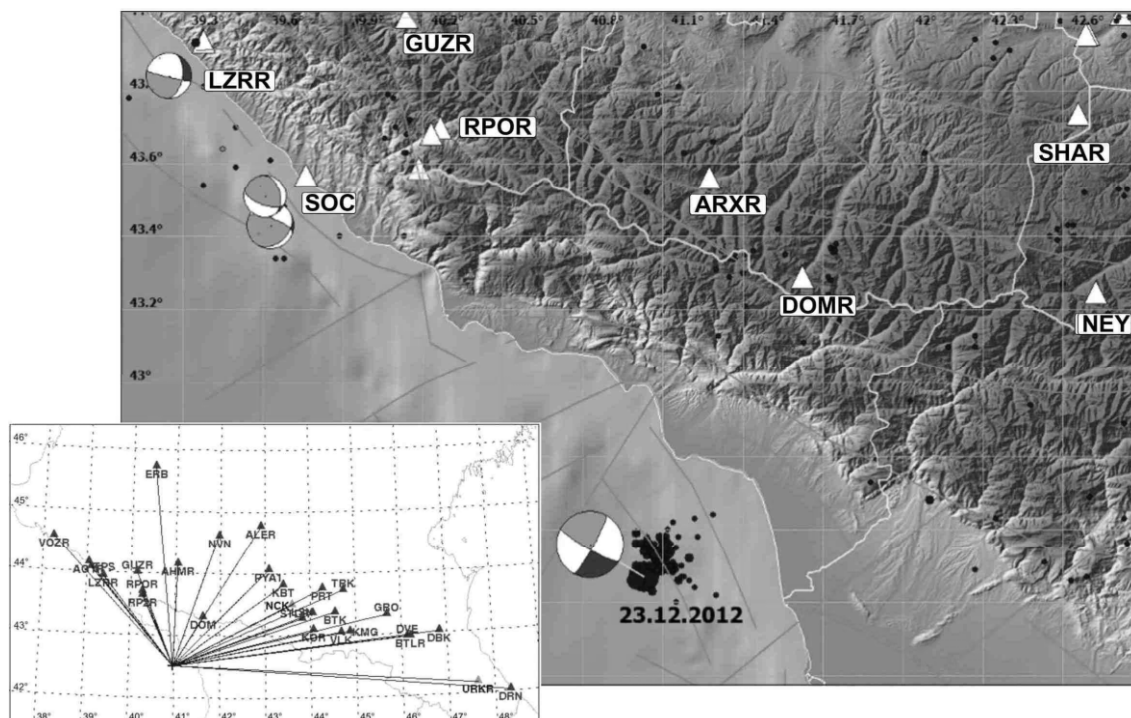
23 декабря 2012 г. в 13<sup>h</sup>31<sup>m</sup> произошло ошутимое землетрясение с максимальной интенсивностью от Адлера до Дагомыса в 5–6 баллов, расчетная сила в эпицентре с использованием обобщенного закона затухания и формулы Н.В. Шебалина была принята, как в [1],  $I_0^P=7-8$  баллов. Его очаг был приурочен к верхней части земной коры ( $h=7$  км). Через двое суток после основного толчка произошел максимальный афтершок 25 декабря 2012 г. в 22<sup>h</sup>44<sup>m</sup> с  $M_S^P=5.0$  и  $I_0^P=6-7$  баллов [2].

Это землетрясение стало сильнейшим в юго-восточной части Чёрного моря. Известные исторические землетрясения имели меньшие магнитуды [3]. Согласно данным ISC за 1900–2010 гг.,

эта часть Черного моря характеризуется слабой сейсмичностью. Ее сейсмический режим по данным каталога за 1969–1984 гг. характеризуется сейсмической активностью в единицах  $A_{M=3.3}$  не более, чем 0.05, что в 2–4 раза ниже значений  $A_{3.3}$  в районе Сочи и Красной Поляны [4, рис. 4].

Согласно прогнозным оценкам [5, рис. 3], максимальная ожидаемая магнитуда  $M_{\max}$  в районе эпицентра составляет от 4.8 до 5.5. Произошедшее землетрясение превысило эти оценки. Таким образом, Восточно-Черноморское землетрясение 23 декабря 2012 г. является уникальным событием для юго-восточной части Черного моря.

В используемой для определения основных параметров региональной сети отсутствуют близкие к эпицентру станции, так как землетрясение произошло в море в 25–30 км от берега. В прибрежной зоне Абхазии сейсмические станции также не были установлены. Ближайшие станции ФИЦ ЕГС РАН расположены на Российской территории в «Домбае» (DOMR) и «Архызе» (ARXR) (Карачаево-Черкесская Республика), в «Сочи» (SOC) и «Красной Поляне» (RPOR), «Нейтрино» (NEY) [6] в Баксанском ущелье, в штольне Нейтринной лаборатории (Кабардино-Балкарская Республика) (рис. 1) и удалены на расстояния более 100 км.



**Рис. 1.** Положение основного толчка и афтершоков Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г., ближайших сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН и региональной сети Северного Кавказа в целом [6]

Восточно-Черноморское землетрясение зарегистрировано многими зарубежными сейсмическими сетями, его параметры получены различными агентствами и опубликованы к моменту написания статьи на сайте Международного Сейсмологического Центра ISC (табл. 1, рис. 2).

**Таблица 1.** Основные параметры Восточно-Черноморского 23 декабря 2012 г. с  $K_p=14.1$ ,  $M_{w\text{per}}=6.0$ ,  $M_{w\text{GCSMT}}=5.8$  по данным разных агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр					Магнитуда		Источник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
NC	13 31 36.53	0.80	42.491	0.10	41.068	0.10	7	2	$MPVA=6.6/8$ , $K_p=14.1$ [5/6], $M^p=5.6$ [8], $I_0^p=7-8$ [1] $M_w=6.0/2$ , $M_0=1.15 \cdot 10^{18}$ $H \cdot m$ [8]	[7–9]
MOS	13 31 38.20	0.81	42.405	0.01	41.015	0.03			$MS=5.4/102$ , $MPSP=5.6/83$ , $M_w=5.9/1$ , $M_0=8.50 \cdot 10^{17}$ $H \cdot m$	[10]

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Ис-точник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
ISC-EHB	13 31 41.14	0.96	42.430	0.2	41.033	0.1	16.1			[11]
ISC	13 31 40.32	1.6	42.4407	0.02	41.0577	0.01	12.9	2.7	$M_s=5.6/573$ , $m_b=5.5/376$	[11]
NEIC	13 31 40.76	0.86	42.420	0.03	41.075	0.02	15.2		$M_s=5.6/299$ , $m_b=5.5/251$ , $M_w=5.7$	[11]
GCMТ	13 31 40.90	0.1	42.460		41.020		15.9		$M_w=5.8/128$	[11]
REB IDC	13 31 38.19	0.334	42.2087	0.08	41.0415	0.06	0f		$M_s=5.5/37$ , $m_b=5.3/36$ , $M_L=4.8/4$	[11]
TIF	13 31 38.82	0.3	42.3867	0.02	40.9115	0.02	26.2		$M_L=6.0$	[11]

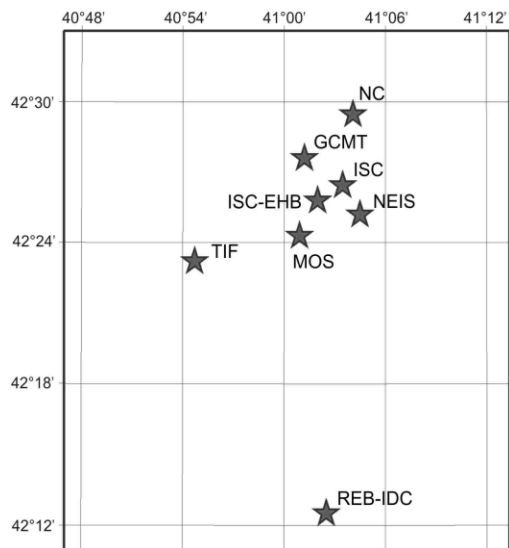


Рис. 2. Положение эпицентра основного толчка Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. по данным различных центров

Решения центров: MOS, ISC-EHB, ISC, NEIC, NC лежат на рис. 2 довольно кучно в области примерно  $10 \times 10$  км, что соответствует возможной точности определения эпицентра в этом месте. Чуть более отстоят от общей зоны решения Грузинского центра TIF и Международного Центра данных IDC.

#### Региональные данные и методика обработки.

На первом этапе цифровые записи прошли рутинную обработку с помощью программного обеспечения WSG, программы локации HYPO-71 с использованием местных скоростных разрезов. Затем положение гипоцентров уточнялось методом двойных разностей по программе hуроDD [12]. Оценки погрешностей координат гипоцентров афтершоков составили: по широте  $\delta\varphi=1.6$  км, по долготе  $\delta\lambda=1.6$  км, по глубине  $\delta h=2$  км. Основная масса афтершоков произошла на глубинах  $h=7-15$  км ( $\bar{h}=11 \pm 4$  км). Основной толчок и его максимальный афтершок располагались на глубинах на  $h_0=7 \pm 2$  км и  $h_a=8 \pm 2$  км.

#### Механизм основного толчка и максимального афтершока.

Механизм очага землетрясения был рассчитан по знакам первых вступлений продольных волн на 85 станциях, из них на 36 зарегистрированы волны сжатия (знаки плюс), на 49 – волны разрежения (знаки минус) [1]. Станции расположены в интервале эпицентральных расстояний  $0.8^\circ-98^\circ$ , равномерно по азимутам. Диаграммы механизма очага на нижней полусфере показаны на рис. 1, 4, элементы механизма представлены в табл. 2. В табл. 2 приведены также решения механизма очага, рассчитанные на основе объемных волн по методу тензора момента в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США (USGS NEIC) и по методу тензора момента центроида в Global CMT Catalog (GCMТ), США. Решения для главного толчка по данным ФИЦ ЕГС РАН (OBN), USGS NEIC и GCMТ близки в пределах ошибок вычисления.

Таблица 2. Параметры механизма очага Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря в  $13^{\text{h}}31^{\text{m}}$  с  $K_p=14.1$  и его максимального афтершока 25 декабря в  $22^{\text{h}}44^{\text{m}}$  с  $K_p=13.0$

Агентство	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Магнитуды		$K_p$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Ис-точник
				MPVA (пер.)	MS <sup>p</sup>		T		N		P		NP1			NP2			
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
GCMТ	23.12	13 31 36.5	7			11	171	76	313	8	79	214	76	178	305	88	14	[11]	
NEIC						12	344	78	171	1	75	29	83	171	120	81	7	[11]	
OBN				6.6	5.6	14.1	10	352	74	225	13	85	219	88	-164	128	74	-2	[13]
GCMТ	25.12	22 44 32.1	8		5.0	13.0	6	167	84	353	1	257	212	86	175	302	85	4	[11]
NEIC							21	350	64	134	14	254	31	65	174	123	85	25	[11]
OBN							15	3	53	251	33	103	236	79	-144	138	55	-14	[13]

Землетрясение возникло под действием близких по величине как растягивающих, так и сжимающих напряжений. Растягивающие напряжения ориентированы в случае OBN и USGS на север, а в случае Global CMT – на юг. Сжимающие – во всех случаях ориентированы на восток. Обе нодальные плоскости имеют крутое залегание. Одна из нодальных плоскостей простирается в северо-восточном – юго-западном направлении, другая – в северо-западном – юго-восточном. Тип движения в очаге представлен сдвигами по обоим нодальным плоскостям: по *NP1* – правосторонним, по *NP2* – левосторонним.

Максимальный афтершок 25.12.2012 также представлен сдвиговым механизмом.

**Тектоническая позиция.** Район Восточно-Черноморского землетрясения 23.12.2012 г. в пределах прослеживания континентальных структур на шельф может быть отнесен к Адлерско-Абхазской краевой структурно-фациальной зоне, являющейся западной частью Абхазско-Рачинской зоны [14, 15]. В [15] отмечается, что разрастание Черноморской депрессии существенно осложнило юго-западный борт мегасвода Большого Кавказа и прилегающие структуры. Он становится круче, приобретает большую амплитуду и осложняется многочисленными складками и разрывами, т.е. превращается из флексурной во флексурно-разрывную зону. На верхнем перегибе этой флексурно-разрывной зоны формируются многочисленные поперечные клавишные структуры, одна из них – Южно-Гудаутская флексурная зона, в пределах которой произошло землетрясение 23.12.2012 г.

**Афтершоки.** Землетрясение произошло в последнюю неделю 2012 г., поэтому значительная часть афтершоков была зарегистрирована в 2013 г. Однако в 2012 г. произошло 167 афтершоков, положение которых показано на рис. 3. Область распределения эпицентров афтершоков представляет собой эллипс, вытянутый с северо-запада на юго-восток с большой осью 17.21 км, малой – 11.37 км. Главный толчок и сильные ( $K_p \geq 11$ ) афтершоки находятся на юго-западном фланге области.



**Рис. 3.** Карта эпицентров основного толчка с  $K_p=14.1$  и афтершоков с  $K_p \geq 13$  Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. за 2012 г. по [7]

В 2013 г. эта зона несколько расширяется и занимает пространство не только в области афтершоков 2012 г., но и за ее пределами, в том числе южнее главного толчка (рис. 4). При этом у самого сильного афтершока 2013 г. 16 ноября в 03<sup>h</sup>49<sup>m</sup> с  $K_p=10.5$ , с эпицентром на севере области сохраняется сдвиговый тип механизма. Одна нодальная плоскость его субмеридиональна, другая имеет простираение, совпадающее с простираением большой оси эллипсоидальной области афтершоков.

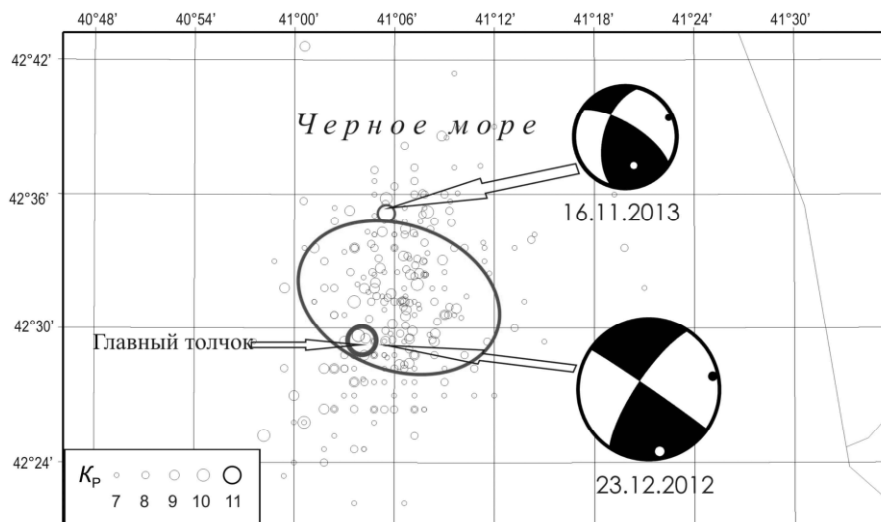


Рис. 4. Сводная карта эпицентров афтершоков с  $K_p \geq 7$  Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. за 2013 г.

В [16] при помощи моделирования с использованием релаксационной LPL-модели (Limited Power Low) и ETAS-модели (Epidemic Type Aftershock-Sequence) триггерной сейсмичности установлено, что только 77 % афтершоков имеют релаксационный характер и могут быть описаны законом Омори, а 23 % – нерелаксационный характер (когда каждое землетрясение, в зависимости от магнитуды, инициирует собственную афтершоковую последовательность). Это хорошо иллюстрируют графики реализации афтершокового процесса Восточно-Черноморского землетрясения в сравнении с графиками релаксационных афтершоковых процессов землетрясений Большого Кавказа (Рачинского 29.04.1991 и Онийского 07.09.2009) (рис. 5). С.В. Барановым в [16] высказана и обоснована гипотеза, что это нарушение нормального хода афтершокового процесса могло произойти вследствие нарушения флюидодинамического равновесия в разломной зоне, вызванного разрушением слоя газовых гидратов основным толчком и сильными афтершоками. В результате моделирования было получена предполагаемая трехлетняя длительность афтершокового процесса. Результаты наблюдений в последующие годы показали, что еще в 2016 г. процесс слабо, но проявлял себя, а 21 сентября 2016 г. в эпицентральной зоне произошло ощутимое (Батуми – 4 балла, Адлер, Хоста – 3–4 балла) землетрясение с  $K_p=11.6$ . Не исключено, что это событие связано уже не с афтершоковым процессом, а с измененным режимом этой практически асейсмичной территории до 2012 г.

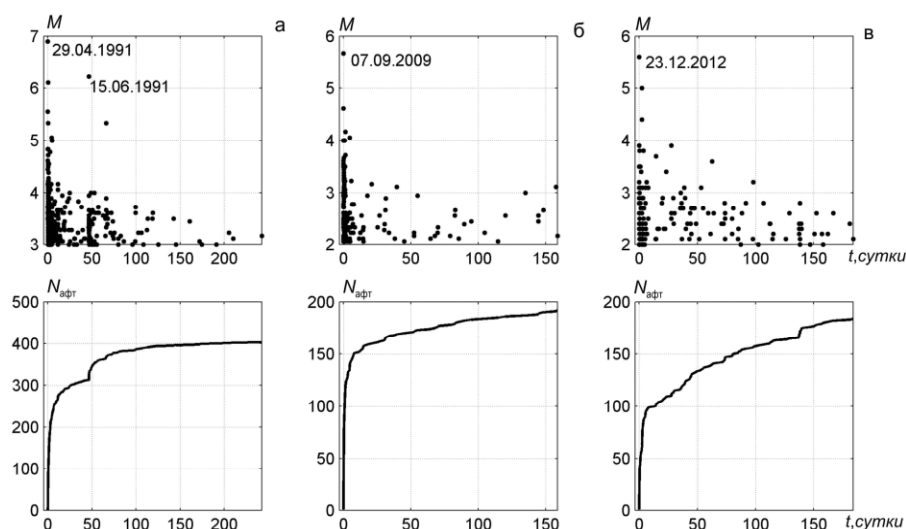


Рис. 5. Сравнение кумулятивных графиков реализации числа афтершоков релаксационного характера афтершокового процесса для Рачинского (а), Онийского (б) и Восточно-Черноморского (в) землетрясений из [16]

К моменту написания статьи было известно, что в эпицентральной зоне процесс продолжался около трех лет, вплоть до начала 2016 г. (рис. 6).

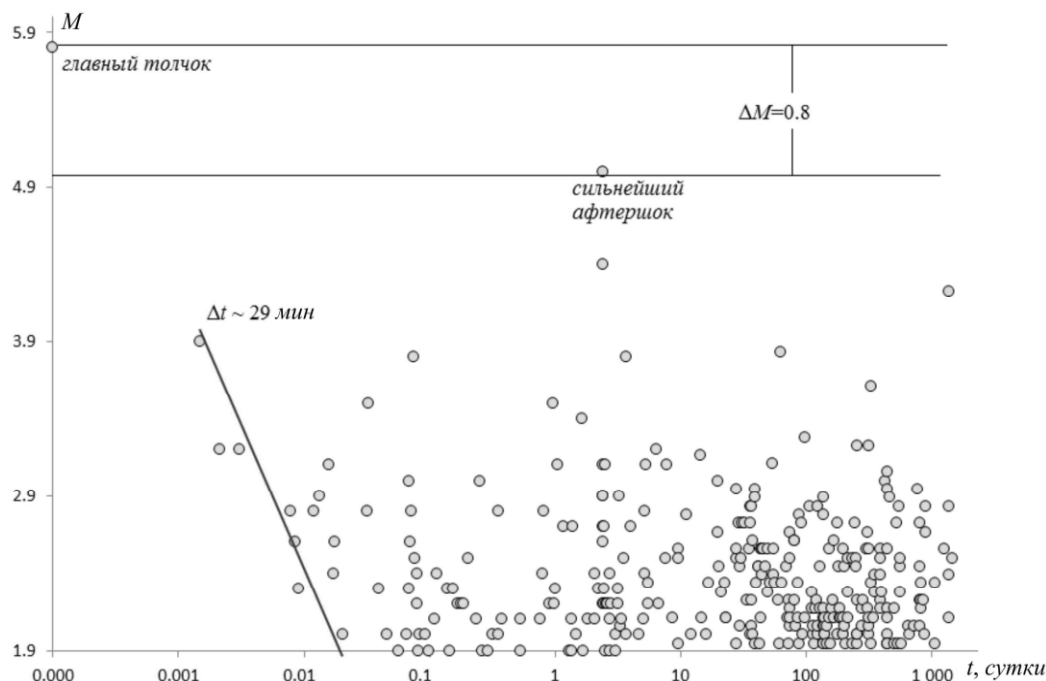


Рис. 6. Распределение афтершоков Восточно-Черноморского землетрясения во времени (в сутках от главного толчка в логарифмическом масштабе)

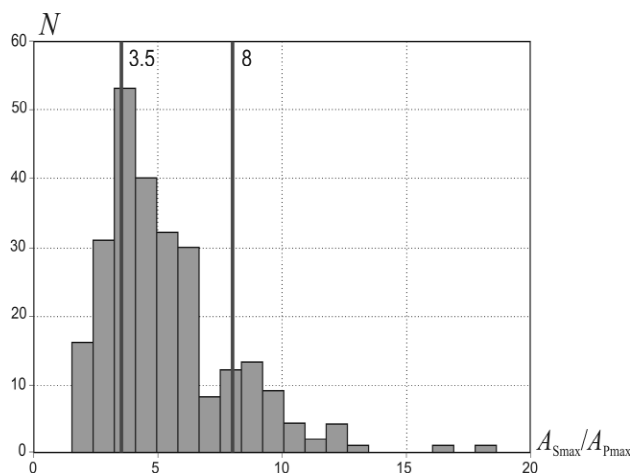
Известна и другая оценка длительности афтершокового процесса Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. Она приводится в работе [17] и составляет 159 суток. Однако имеющиеся в настоящее время данные (рис. 6) не подтверждают этот период, а скорее подтверждают период, полученный в [16]. В [16] показано, что первые 29 минут после главного толчка можно отнести к неустановившейся стадии афтершокового процесса с дефицитом афтершоков (рис. 6).

Разница в магнитудах главного толчка и сильнейшего афтершока составила  $\Delta M_a=0.6$ , а если рассматривать значения спектральной магнитуды  $M_w$  по данным GCMT, то  $\Delta M$  составило 0.4, что говорит, о том, что закон Бота [18], который определяет приближенное соотношение между магнитудами сильнейшего афтершока и главного события как  $\Delta M=M_0-M_a \approx 1$ , в данном случае не подтверждается. Как показано в [17], в целом для Кавказа среднее значение эмпирического распределения  $\Delta M_a$  в выборке, включающей 23 землетрясения, близко к 1, и закон Бота в среднем выполняется. В то же время величина  $\Delta M$  варьирует в весьма широких пределах –  $0.2 \leq \Delta M \leq 1.8$ .

В [19] установлено, что афтершоковый процесс в 2012 г. и 2013 г. развивался в основном в двух взаимно перпендикулярных направлениях – вдоль побережья и в направлении на сушу. Результаты исследования афтершокового процесса по записям ближайшей к очагу Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2013 г. станции «Домбай», удаленной примерно на 100 км от эпицентра, показали, что процессы релаксации напряжений в очаговой зоне этого уникального землетрясения неоднородны. Основная выделившаяся энергия связана с небольшой зоной, вытянутой вдоль побережья, о таком направлении говорит и простираение одной из нодальных плоскостей механизма очага главного толчка. По соотношению амплитуд в  $P$ - и  $S$ -волнах последующие афтершоки  $A_{Smax}/A_{Pmax} > 6$  распределились по всей зоне, вытянутой в северо-западном направлении.

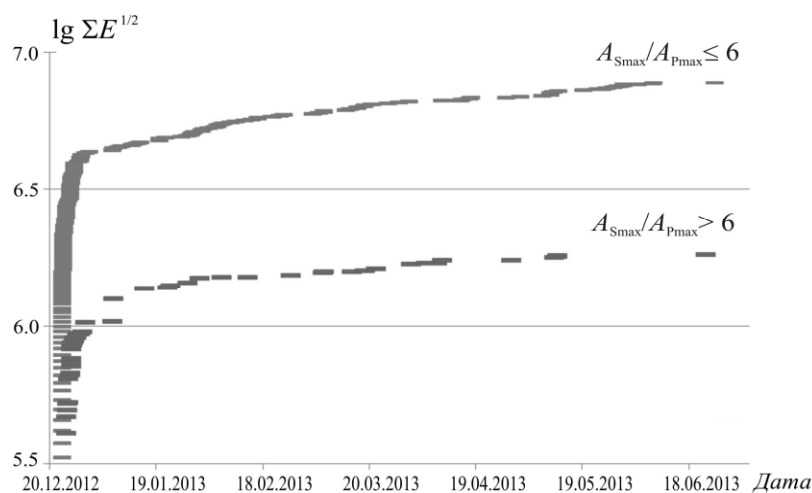
По величине  $A_{Smax}/A_{Pmax}$  исследуемая выборка афтершоков имеет бимодальное распределение (рис. 7). Большая часть афтершоков имеет:  $A_{Smax}/A_{Pmax} \leq 6$ , среднее  $A_{Smax}/A_{Pmax} = 3.5$  и  $A_{Smax}/A_{Pmax} > 6$  [19]:

– 73 % афтершоков из числа рассмотренных имели  $A_{Smax}/A_{Pmax} < 6$ ; – 27 % –  $A_{Smax}/A_{Pmax} \geq 6$ .



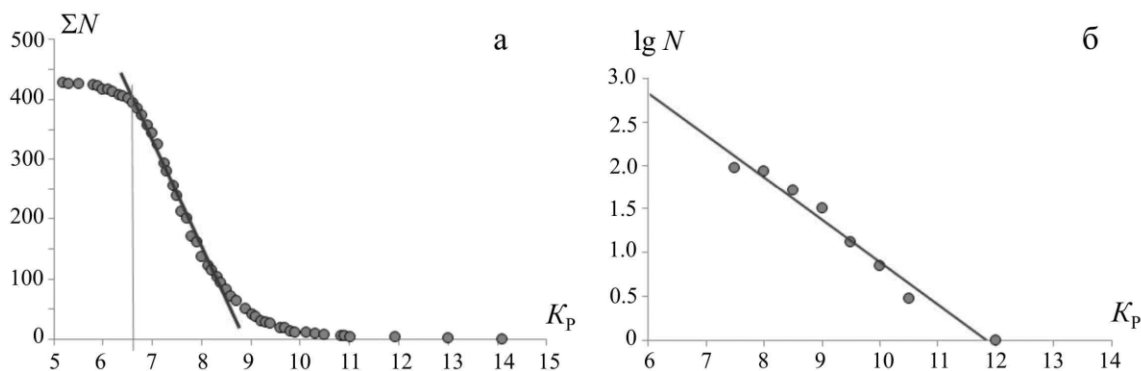
**Рис. 7.** Гистограмма распределения значений  $A_{Smax}/A_{Pmax}$  для 167 афтершоков с  $K_p=7-11$  максимальных амплитуд поперечных и продольных волн, полученных на станции «Домбай» для записей с отношением сигнал/шум более 3

Построенные отдельно графики Бенъюффа для двух групп (1 –  $A_{Smax}/A_{Pmax} \leq 6$ , и 2 –  $A_{Smax}/A_{Pmax} > 6$ ) показывают, что с  $A_{Smax}/A_{Pmax} < 6$  были более сильными, такому же типу соответствовали и основной толчок 23 декабря, и его максимальный афтершок 25 декабря 2012 г. (рис. 8).



**Рис. 8.** График Бенъюффа для двух типов афтершоков Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г.

**Исследование изменения наклона графика повторяемости во времени.** Для Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. методом ортогональной регрессии построен график повторяемости (ненормированный) за основной афтершоковый период с 23.12.2012 г. по 31.12.2013 г. и рассчитан наклон  $\gamma$ . Предварительно был оценен представительный уровень  $K_{min}$ . Он составил  $K_{min}=6.8$  по кумулятивному графику (рис. 9 а) и  $K_{min}=7.5$  по графику распределения Гутенберга–Рихтера  $N(K)$  с шагом  $\Delta K_p=0.5$ . Как видно на рис. 9, для более слабых ( $K_p < 7.5$ ) землетрясений заметен дефицит. В диапазоне  $K_p=7.5-12$  (с шагом  $\Delta K_p=0.5$ ) получено значение  $\gamma=0.49 \pm 0.03$  при  $R=-0.99$  и  $N=280$  для всего периода афтершоков за 23.12.2012–31.12.2013 гг.



**Рис. 9.** Кумулятивный (а) и обычный (б) графики повторяемости афтершоков Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. с  $K_p=14.1$ ,  $M_{W_{ГСМТ}}=5.8$  за период с 23.12.2012 г. по 31.12.2013 г.

Представляет интерес исследование изменчивости во времени угла наклона  $\gamma$  графика повторяемости  $N(K_p)$  афтершоков. Для решения этой задачи взят более длинный период афтершокового процесса с 23.12.2012 г. по 31.12.2014 г. и разбит на пять интервалов с равными суммарными числами (100 землетрясений) для обеспечения представительности каждой выборки. Затем для каждого из них методом ортогональной регрессии рассчитан наклон графика повторяемости. Результаты представлены в табл. 3. Представительный уровень  $K_{\min}$  при этом был разным, а именно: в первые сутки и вплоть до мая 2013 г. представительными были землетрясения  $K_{\min}=8.0$ , далее  $K_{\min}=7.5$  и даже  $K_{\min}=7.0$ . Как следует из табл. 3, с начала серии и до максимального афтершока 25 декабря 2012 г. в 22<sup>h</sup>44<sup>m</sup> получено самое низкое значение наклона графика повторяемости, равное  $|\gamma|=0.41\pm 0.03$ . Самое высокое значение  $|\gamma|=0.56\pm 0.11$  характеризует интервал с 28 января по 1 мая 2013 г., затем вплоть до конца 2014 г. наблюдается несколько повышенное значение  $\gamma=0.49$  и  $0.50$  как относительно начала серии афтершоков, так и относительно значения по, например, району Краснополянских землетрясений 1956–1958 гг., равного  $|\gamma|=0.46$  [20].

**Таблица 3.** Параметры графиков повторяемости для разных временных интервалов афтершокового процесса Восточно-Черноморского землетрясения с  $K_p=14.1$ ,  $M_{W_{GCMT}}=5.8$

Время начала выборки	Время завершения выборки	Число землетрясений в выборке	Интервал классов (шаг 0.5 $K$ )	$\gamma\pm\Delta\gamma$	$R$
23.25.12	сильный афтершок 25.12.2012 (22:44)	102	8–11	$0.41\pm 0.03$	0.986
25.12.2012 (22:54)	27.01.2013	101	8–11	$0.45\pm 0.04$	0.986
28.01.2013	01.05.2013	103	8–10	$0.56\pm 0.11$	0.928
07.05.2013	29.11.2013	109	7.5–10.5	$0.49\pm 0.02$	0.997
30.11.2013	31.12.2014	108	7–9	$0.50\pm 0.05$	0.982

Исследование поведения  $\gamma$  показывает на изменчивость во времени сейсмического режима последствия в очаговой области Восточно-Черноморского землетрясения.

**Макросейсмические данные.** Макросейсмического обследования на ближайшей территории Абхазии не проводилось. Штатом сейсмической станции «Сочи» проведено обследование ряда объектов в Адлерском, Хостинском, Центральном и Лазаревском районах после двух наиболее сильных землетрясений близ Абхазского побережья 23 и 25 декабря 2012 г. Интенсивность в этих районах была признана равной 5–6 баллам по шкале MSK-64 [21]. Все сведения об ошутимости главного толчка 23 декабря 2012 г. сведены в табл. 4, максимального афтершока 25 декабря 2012 г. – в табл. 5.

#### **I=5–6 баллов.**

*В Адлерском районе (140 км)* большая часть опрошенных, проживающая в домах постройки 1981–1991 гг., в основном панельных, видимых повреждений не заметила, но все услышали гул, ощутили два толчка, первый короткий, второй более сильный, сильно испугались, выбегали на улицу. Раскачивались люстры, картины, качалась вода в кулерах и других емкостях, посуда дребезжала, столы, стулья сдвигались с места, падали книги с полок. В деревянном частном доме постройки 1955–1957 гг. сидевшие в состоянии покоя люди услышали гул, ощутили два толчка, испугались. Раскачивались люстры, вода в ванной выплескивалась, посуда дребезжала, попадали фотографии в рамках. Беспokoились животные.

*В Хостинском районе (150 км)* кроме собственного испуга все опрошенные также отмечали беспокойство животных. В квартирах домов типовой застройки 70–80-х гг. сдвигалась мебель – от холодильника до стульев, раскачивались люстры, дребезжала посуда, падали с полок книги, вода в баллонах долго раскачивалась и выплескивалась.

*В Центральном районе Сочи (163 км)* люди, находящиеся в состоянии покоя в квартирах домов типовой застройки, слышали гул и ощутили два толчка, испытали испуг. Кроме уже названных реакций предметов в других районах, отмечено раскачивание бетонного забора на улице, в домах хлопали межкомнатные двери, сдвигалась со своих мест мебель, упали и разбились ваза и графин. Сдвигались тяжелые предметы (телевизор и холодильник). Животные беспокоились.



В Лазаревском районе, пос. Дагомыс (174 км) наблюдалась подобная реакция людей, находящихся в состоянии покоя в помещении. На улице люди толчков не ощутили, но слышали гул. Животные, за редким исключением, не реагировали. Предметы вели себя подобным же образом, как и в других районах. Во всех этих пунктах снаружи и внутри зданий видимых повреждений не было обнаружено.

**I=5 баллов.** По данным NEIC и CSEM из [11], это событие также ощущалось в Батуми (105 км), Озургети (100 км) и Гори (260 км) – V баллов по шкале MM [22].

**I=3 балла.** В станице Зеленчукской (165 км), Черкесске (210 км), Карачаевске (159 км) интенсивность достигала I=3 балла по шкале MSK-64. По данным NEIC, предположительно в Тбилиси (320 км) – III балла по шкале MM.

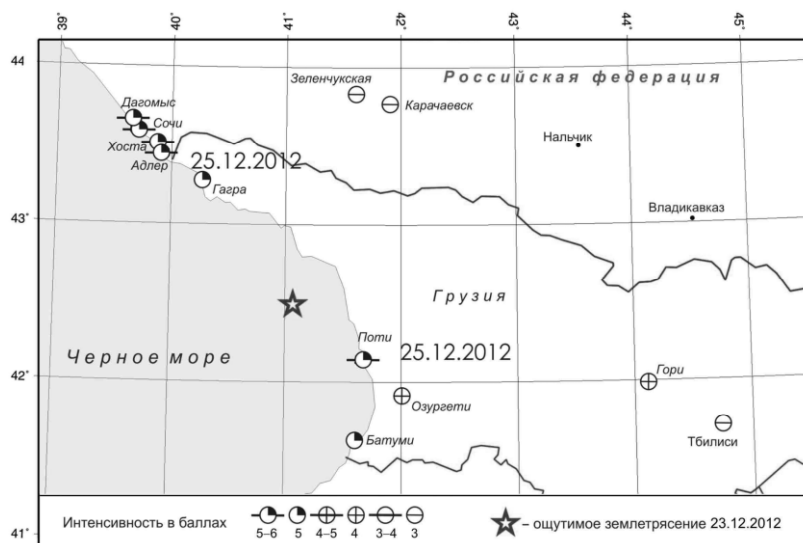
**Таблица 4.** Макросейсмические данные о Восточно-Черноморском землетрясении 23 декабря 2012 г. в  $13^{\text{h}}31^{\text{m}}$  с  $K_p=14.1$ ,  $M_{W_{\text{GCMT}}}=5.8$

№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<u>5–6 баллов</u>					<u>4 балла</u>				
1	Адлер	142	43.444	39.910	5	Озургети	100	41.922	42.006
2	Хоста	149	43.513	39.876	6	Гори	257	41.982	44.112
3	Центральный Сочи	166	43.600	39.700	<u>3 балла</u>				
4	Дагомыс	173	43.660	39.657	7	Карачаевск	158	43.773	41.914
<u>5 баллов</u>					8	Зеленчукская	202	44.243	41.722
5	Батуми	106	41.634	41.623	9	Черкесск	209	44.227	42.047
					10	Тбилиси	320	41.697	44.799

**Таблица 5.** Макросейсмические данные о землетрясении 25 декабря 2012 г. в  $22^{\text{h}}44^{\text{m}}$  с  $K_p=13.0$ ,  $M_{W_{\text{GCMT}}}=5.4$  (максимальный афтершок)

№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<u>5–6 баллов</u>									
1	Поти	67	42.143	41.675	3	Батуми	109	41.634	41.623
<u>5 баллов</u>					4	Сочи	163	43.600	39.700
2	Гагра	106	43.281	40.265	<u>3 балла</u>				
					5	Карачаевск	158	43.773	41.914
					6	Черкесск	208	44.227	42.047

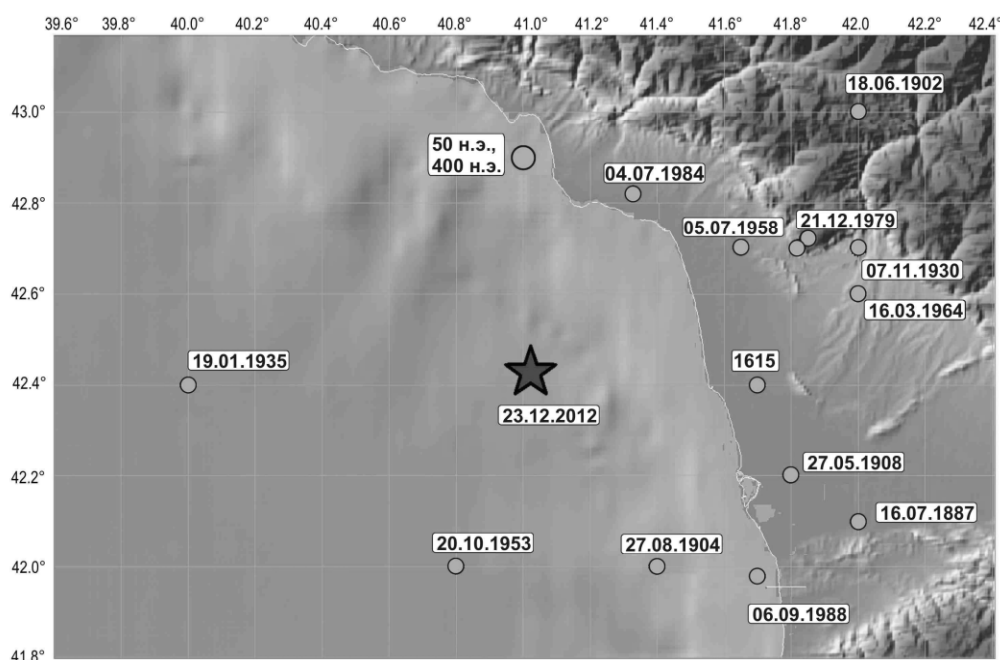
На рис. 10 представлены населенные пункты и балльность в них. Имеющихся данных недостаточно для проведения изосейст и исследования закона затухания.



**Рис. 10.** Карта пунктов-баллов Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. с  $K_p=14.1$

**Исторические сведения.** В радиусе 50–70 км от эпицентра землетрясения, произошедшего 23.12.2012 г., известны исторические землетрясения с  $M \leq 5.5$  (рис. 11), но проявившиеся, по данным «Нового каталога...» [3], с разрушительной силой. Так, три из них были 8-балльными:

- землетрясение 50 г. с  $M=5.5$ , вызвавшее сотрясения, приведшие к гибели г. Диоскурия, оползни и, возможно, цунами;
- землетрясение 400 г. с  $M=5.5$  (примерно в этом же очаге), приведшее к серьезным разрушениям в г. Себастополис (Сухумская бухта), были повреждены и наклонены крепостные стены;
- Цаишское землетрясение 1615 г. с  $M=4.9$ ;
- 7-балльное землетрясение в эпицентре – Ачигварское 05.07.1958 г. с  $M=4.6$ ;
- 6-балльные землетрясения, произошедшие в шельфовой части Чёрного моря: 27.08.1904 г., 19.01.1935 г., 20.10.1953 г. с  $M=4.2-4.7$  [3].



**Рис. 11.** Исторические землетрясения в Чёрном море и в прибрежной части Абхазии вблизи Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00263).

### Л и т е р а т у р а

1. **ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН»** [Сайт]. – Информационное сообщение об ощутимом землетрясении в Чёрном море 23 декабря 2012 года. – URL: [http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/info\\_quake.pl?mode=&id=201](http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/info_quake.pl?mode=&id=201)
2. **ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН»** [Сайт]. – Информационное сообщение об ощутимом землетрясении в Чёрном море 25 декабря 2012 года. – URL: [http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/info\\_quake.pl?mode=&id=202](http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/info_quake.pl?mode=&id=202)
3. **Бабаян Т.О., Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г., Шебалин Н.В., Вандышева Н.В. (отв. сост.).** П б. Кавказ [50–1974 гг.,  $M \geq 4.0$ ,  $I_0 \geq 5$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 69–170.
4. **Лутиков А.И., Чебкасова Е.В.** Сейсмический режим южной части Северо-Западного Кавказа // Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. – М.: Наука, 1991. – С. 81–98.
5. **Шолпо В.Н., Рейснер Г.И., Рогожин Е.А.** Идеи академика Гамбурцева в сеймотектонике // Физика Земли. – 2004. – № 5. – С. 68–79.

6. Мехрюшев Д.Ю., Янков А.Ю., Погода Э.В., Даниялов М.Г., Габсатарова И.П., Пойгина С.Г. (сост.). Сейсмические станции ФИЦ ЕГС РАН, работавшие на территории Северного Кавказа в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.
7. Габсатарова И.П., Амиров С.Р., Девяткина Л.В., Цирихова Г.В. (отв. сост.), Александрова Л.И., Артёмова Е.В., Багасва С.С., Гамидова А.М., Гричуха К.В., Головкова Л.В., Иванова Л.Е., Калугина И.Ю., Королецки Л.Н., Косая В.В., Лещук Н.М., Мусалаева З.А., Перевозникова Я.Н., Петросян Э.Н., Сагателова Е.Ю., Селиванова Е.А. (сост.). Каталог землетрясений и взрывов Северного Кавказа за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.
8. Раутман Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
9. Малянова Л.С., Габсатарова И.П. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Северного Кавказа // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 294–301.
10. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2012 год [Электронный ресурс] / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2012–2013. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2012](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2012)
11. International Seismological Centre, Thatcham, Berkshire, United Kingdom, 2015 [Сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
12. Waldhauser F., Ellsworth W.L. A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2000. – 90. – No. 6. – P. 1353–1368.
13. Габсатарова И.П., Малянова Л.С. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Северного Кавказа за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.
14. Милановский Е.Е. О некоторых особенностях структуры и истории развития шовных зон (на примере Кавказа) // Сов. геология. – 1962. – № 6. – С.52–76.
15. Бархатов И.И., Несмеянов С.А., Шмидт Г.А. Геолого-геофизические материалы для выделения сейсмогенерирующих структур Северо-Западного Кавказа и смежных областей // Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. – М.: Наука, 1991. – С. 44–80.
16. Баранов С.В., Габсатарова И.П. Афтершоковые процессы сильных землетрясений Западного Кавказа // Физика Земли. – 2015. – № 3. – С. 134–144.
17. Лутиков А.И., Донцова Г.Ю., Родина С.Н. Временные и энергетические параметры афтершокового процесса землетрясений Кавказа и сопредельных территорий // Геофизические исследования. – 2017. – 18. – № 1. – С. 20–36. DOI: 10.21455/gr2017.1–2.
18. Bath M. Lateral inhomogeneities of the upper mantle // Tectonophysics. – 1965. – 2. – Is. 6. – P. 483–514.
19. Заклюковская А.С., Габсатарова И.П. Об особенностях афтершокового процесса Восточно-Черноморского землетрясения 23 декабря 2012 г. с  $M=5.6$  // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 167–171.
20. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – С. 24.
21. Медведев С.В. Международная шкала сейсмической интенсивности // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 151–162.
22. The Modified Mercalli Intensity Scale. USGS National Earthquake Information Centre [Сайт]. – URL: <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>