

**КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКИЙ РЕГИОН****Б.Г. Пустовитенко, В.А. Свидлова***Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУВО «Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, seimosilver@mail.ru, bpustovitenko@mail.ru*

**Аннотация.** В 2012 г. сеть станций Крыма дополнена новым сейсмологическим пунктом «Тарханкут» (TARU), расположенным на Тарханкутском полуострове. В связи с этим площадь представительных землетрясений региона с  $K_{\min}=9$  расширилась в северо-западном направлении. Особенностью пространственного расположения эпицентров в 2012 г. является максимальная плотность эпицентров в Керченско-Анапском районе и отсутствие землетрясений с  $K_{\Gamma}>8.2$  в центральной части региона (Ялтинский и Алуштинский районы). В 2012 г. примерно в девять раз увеличилось количество суммарной сейсмической энергии по сравнению с таковой в 2011 г., а общее число землетрясений уменьшилось почти в два раза. Возросшая активность региона связана с ощутимым землетрясением с  $K_{\Gamma}=12.1$ ,  $M_w=4.3$  вблизи г. Анапа. Рассмотрены параметры сейсмического режима за 2012 г. и предшествующие пять лет. Угловой коэффициент графика повторяемости в Керченско-Анапском районе несколько выше, чем в целом в регионе, что характеризует большую «сейсмическую дробность» глубинной среды в этой части региона по сравнению с остальными. Рассмотрены четыре карты сейсмической активности  $A_{10}$ : две обзорные для всего региона за текущий 2012 г. и период 2008–2012 гг. и две детальные – для Керченско-Анапского района. Наиболее высокий уровень сейсмической активности  $A_{10}=0.6$  за последние пять лет относится к центральной части региона. По сравнению с этим, в 2012 г. значение  $A_{10}=0.08$  для этой части региона почти на порядок меньше. В 2012 г. общий вклад от землетрясений в тектоническую деформацию среды составил  $\varepsilon=10^{-10}$ . Максимальная скорость деформации, равная  $V\varepsilon=1.2\cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>, отмечена только в Керченско-Анапском районе, что связано с ощутимым Анапским землетрясением 10.12.2012 г. Для центральной зоны региона за этот же период общая деформация среды и скорость  $V\varepsilon$  примерно на порядок ниже, чем в целом для региона.

**Abstract.** In 2012 the network of stations of the Crimea was supplemented by new seismological point "Tarkhankut" (TARU), located on Tarhankutsky Peninsula. This has led to the area of the representative earthquakes of the region with  $K_{\min}=9$  having been extended in the north-west direction. The peculiarity of the spatial distribution of epicenters in 2012 is the highest density of epicenters in the Kerch-Anapa district and the lack of earthquakes with  $K_{\Gamma}>8.2$  in the Central part of the region (Yalta and Alushta areas). In 2012 approximately 9-fold increase in the number of total seismic energy compared to 2011 has been observed, and the total number of earthquakes has decreased almost twice. The increased activity of the region is associated with the perceptible earthquake with  $K_{\Gamma}=12.1$ ,  $M_w=4.3$  near Anapa. The parameters of seismic regime for 2012 and the preceding 5 years have been described. The angular coefficient of the recurrence graph for the Kerch-Anapa district is somewhat higher than in the region, which characterizes greater "seismic granularity" of the deep environment in this part of the region as compared to the rest. Four maps of seismic activity  $A_{10}$ : two overview maps for the entire region for the current 2012 and the period 2008–2012 and two detailed ones – for Kerch-Anapa district have been considered. The highest level of seismic activity for the last 5 years  $A_{10}=0.6$  refers to the Central part of the region. Compared to this, in 2012 the value of  $A_{10}=0.08$  for this part of the region is almost an order of magnitude smaller. In 2012 the total contribution from earthquakes in the tectonic deformation of the environment amounted to  $\varepsilon=10^{-10}$ . The maximum strain rate  $V\varepsilon=1.2\cdot 10^{-9}$  year<sup>-1</sup> was observed only in the Kerch-Anapa district related to 10.12.2012 tangible Anapa earthquake. For the Central zone of the region during the same period, the total deformation of the medium and the velocity  $V\varepsilon$  are approximately an order of magnitude lower than in the region.

В 2012 г. мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе осуществлялся семью стационарными цифровыми сейсмическими станциями Крыма: «Симферополь» (SIM), «Севастополь» (SEV), «Ялта» (YAL), «Алушта» (ALU), «Феодосия» (FEO), «Судак» (SUDU), «Керчь» (KERU). Общие сведения о станциях сети и параметрах цифровой регистрирующей аппаратуры представлены в Приложении [1] к настоящему ежегоднику.

С 11 июля 2012 г. сеть станций Крыма дополнена новым сейсмологическим пунктом «Тарханкут» (TARU), расположенным на Тарханкутском полуострове в северо-западной части Крыма в с. Оленёвка (табл. 1).

Ранее в работах [2, 3] было показано, что существующая сеть сейсмических станций не является оптимальной для северо-западной части Крыма и района мыса Тарханкут, где в последнее время активизировались местные сейсмические процессы. Только за период 2008–2012 гг. из района мыса Тарханкут зарегистрировано 19 землетрясений с энергетическими классами  $K_{\Gamma}=6.7–8.1$ . В связи с этим, для совершенствования сети сейсмических наблюдений в период 2011–2012 гг. Институт Геофизики НАНУ и КРП «Крымский экспертный совет по оценке сейс-

мической опасности и прогнозу землетрясений» (КРП «КЭС») провели работы по исследованию фона помех в северо-западной части Крыма для выбора места с наименьшим уровнем микросейсмического шума. Учитывались также технические и коммуникационные возможности организации стационарного пункта непрерывных наблюдений. Из нескольких альтернативных вариантов такой пункт, получивший название «Тарханкут», выбран в с. Оленёвка.

Таблица 1. Параметры нового пункта «Тарханкут» региональной сети Крыма с 11.07.2012 г.

Название	Код		Дата открытия	Координаты			Тип АЦСС	Каналы
	межд.	рег.		$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_v, м$		
Тарханкут	TARU	TARU	11.07.2012 г.	45.38	32.53	0	MI-21	ВН (N, E, Z) v

На рис. 1 приведены спектры микросейсм, зарегистрированных полевой цифровой сейсмической станцией (ЦСС), состоящей из регистратора UK15 с трехкомпонентным датчиком СК-1П на пункте «Тарханкут».

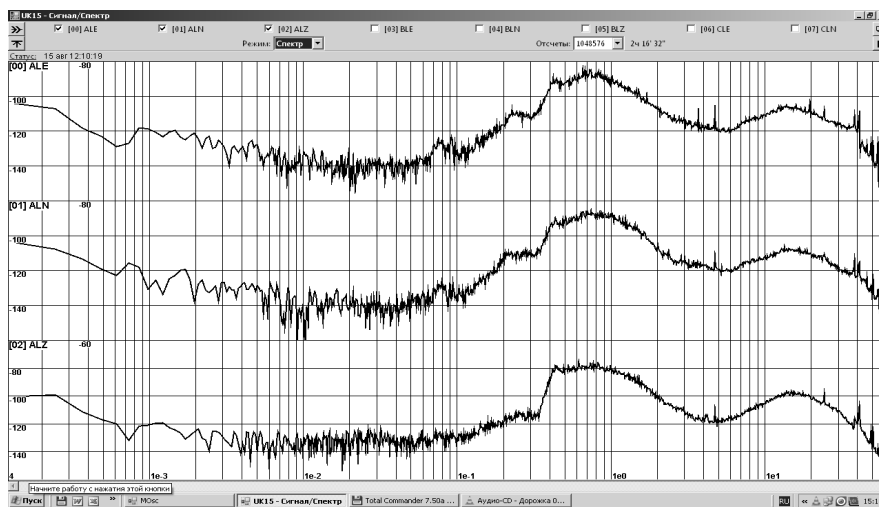


Рис. 1. Запись микросейсмического фона, зарегистрированного ЦСС (регистратор UK15 с трехкомпонентным датчиком СК-1П) на пункте «Тарханкут» 15.08.2012 г.

Спектральная плотность микросейсмического фона (рис. 1), зарегистрированного на пункте «Тарханкут» (TARU), в диапазоне частот от 2 до 20 Гц имеет значения примерно в 10 раз меньше, чем на центральной станции «Симферополь».

Стационарные наблюдения на пункте TARU проводятся автоматической цифровой сейсмологической станцией (АЦСС) MI21, принадлежащей КРП «КЭС». Контроль работоспособности станции выполняется дистанционно. Синхронизация работы АЦСС производится с помощью внешнего источника сигналов точного времени (GPS).

Как показано в работе [4], привлечение в сводную обработку результатов регистрации пунктом наблюдений «Тарханкут» повышает надежность определения координат эпицентров землетрясений в северо-западной части региона.

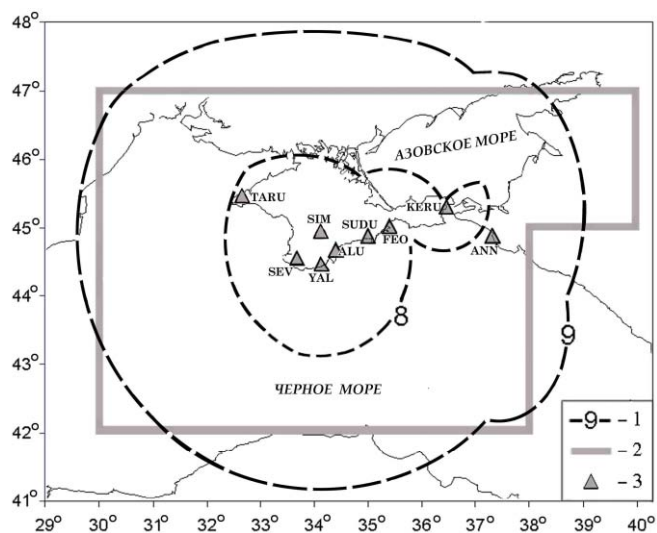


Рис. 2. Карта энергетической представительности землетрясений  $K_{min}$  Крымско-Черноморского региона по данным наблюдений с 11 июля 2012 г.

1 – изолиния  $K_{min}$ ; 2 – граница региона; 3 – сейсмическая станция.

На рис. 2 дана карта представительности землетрясений  $K_{\min}$  в 2012 г., построенная с участием пункта «Тарханкут». Поскольку новым пунктом зарегистрировано всего восемь региональных событий, то надежно определена только конфигурация двух изолиний  $K_{\min}=9$  и  $K_{\min}=8$ . По сравнению с [5], в пределах этих изолиний увеличилась площадь  $K_{\min}=9$  в западном направлении, а площадь  $K_{\min}=8$  – в северном и западном направлениях. В целом существующая сеть станций Крыма в 2012 г. обеспечила представительную регистрацию землетрясений с  $K_{\min}=9$  практически на всей территории Крымско-Черноморского региона.

**Методика сводной обработки** землетрясений региона подробно описана в [6, 7, 8]. При обработке землетрясений из районов, приграничных с Северным Кавказом, помимо станций Крымской сети, используются также данные станций ФИЦ ЕГС РАН, входящих в сеть Северного Кавказа [9]: бюллетени станции «Анапа», для некоторых событий – волновые формы, полученные сейсмическими станциями «Возрождение», «Краснодар», «Туапсе». Первичная интерпретация полученных цифровых сейсмических записей и их сохранение выполнялись по программному комплексу WSG [10].

Классификация землетрясений в каталоге выполнена по энергетическим классам  $K_{\Pi}$  [11] для всех землетрясений, а также по магнитудам: для четырех – по коду  $M_c$  [12], для семи – по локальным магнитудам  $ML_{WSG}$  [10] и моментным магнитудам  $M_w$  [13]. Моментные магнитуды  $M_w$  приведены из работы [14]. Диапазон энергетических классов равен  $K_{\Pi}=4.6-12.1$ , диапазон магнитуд –  $M_c=1.9-4.3$ ,  $M_w=2.7-4.3$ ,  $ML_{WSG}=2.9-4.6$  соответственно. Самое сильное ( $K_{\Pi}=12.1$ ,  $M_c=4.3$ ,  $M_w=4.3$ ,  $ML_{WSG}=4.6$ ) землетрясение произошло 10 декабря в 16<sup>h</sup>56<sup>m</sup> вблизи г. Анапа (рис. 3), на территории которого интенсивность сотрясений достигала  $I=5$  баллов по шкале MSK-64 [15]. Механизм его очага и макросейсмические сведения о нем приведены в [16].

В региональный каталог Крымско-Черноморского региона за 2012 г. [17] включены основные параметры 53 землетрясений. Для семи событий региона получены спектральные и динамические параметры их очагов [14].

**Сейсмичность региона.** Особенностью пространственного расположения землетрясений в 2012 г. (рис. 3) является максимальная плотность их эпицентров в Керченско-Анапском районе и отсутствие землетрясений с  $K_{\Pi}>8.2$  в центральной части региона (Ялтинский и Алуштинский районы). Глубина большинства землетрясений (92.5%) не превышает преобладающей глубины для региона  $h=20-25$  км [7].

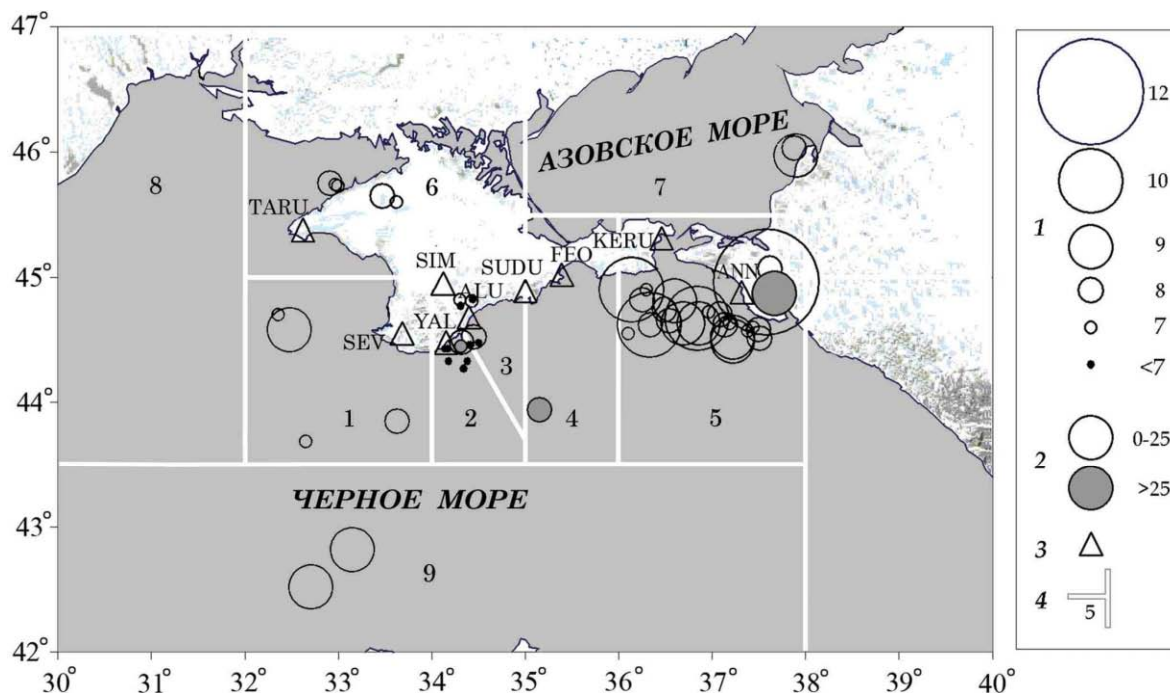


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2012 г.

1 – энергетический класс  $K_{\Pi}$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района.

Распределение основных параметров сейсмичности Крымско-Черноморского региона в 2012 г., в сравнении с таковыми за десятилетний период (2002–2011 гг.), приведено в табл. 2. Видно, что характер выделения сейсмической энергии в регионе существенно изменяется со временем. В 2012 г. примерно в девять раз увеличилось количество суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E \sim 1.3 \cdot 10^{12}$  Дж по сравнению с  $\Sigma E \sim 1.4 \cdot 10^{11}$  Дж в 2011 г., а общее число зарегистрированных землетрясений уменьшилось почти в два раза,  $N_{\Sigma} = 53$  (против  $N_{\Sigma} = 92$ ) (табл. 1). Как ранее отмечалось, «в 2011 г. завершился спад уровня сейсмической энергии, наблюдаемый с 2008 г., и начался ее рост» [18]. Увеличение количества выделившейся сейсмической энергии в 2012 г. связано с вышеупомянутым ощутимым Анапским землетрясением с максимальным энергетическим классом  $K_{II} = 12.1$ .

**Таблица 2.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_{II}$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  Крыма за 2002–2012 гг.

Год	$K_{II}$										$N_{\Sigma}$	$\Sigma E$ , Дж
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
2002 [19]	1	7	9	10	4	6				1	38	$1.0006 \cdot 10^{13}$
2003 [20]	1	11	16	11	15	5	2	1			62	$4.629 \cdot 10^{10}$
2004 [21]		3	16	12	9	7	2	1			50	$5.7202 \cdot 10^{10}$
2005 [22]		1	7	7	7	3	2		1		28	$5.1913 \cdot 10^{11}$
2006 [23]	1	2	8	15	6	8	1	1			42	$2.1534 \cdot 10^{11}$
2007 [24]		2	7	16	11	7	4		1		48	$6.8275 \cdot 10^{11}$
2008 [25]		2	11	16	15	11	5			1	61	$5.0674 \cdot 10^{12}$
2009 [26]		17	60	43	26	8	5	2			161	$3.4884 \cdot 10^{11}$
2010 [27]		6	18	32	22	10	3				91	$3.2684 \cdot 10^{10}$
2011 [28]		11	24	23	20	7	5	2			92	$1.4445 \cdot 10^{11}$
Сумма	3	62	176	185	135	72	29	7	2	2	672	$1.74582 \cdot 10^{13}$
Среднее	0.3	6.2	17.6	18.5	13.5	7.2	2.9	0.7	0.2	0.2	67.2	$1.7458 \cdot 10^{12}$
2012 [17]		3	6	14	16	9	3		1		53	$1.2881 \cdot 10^{12}$

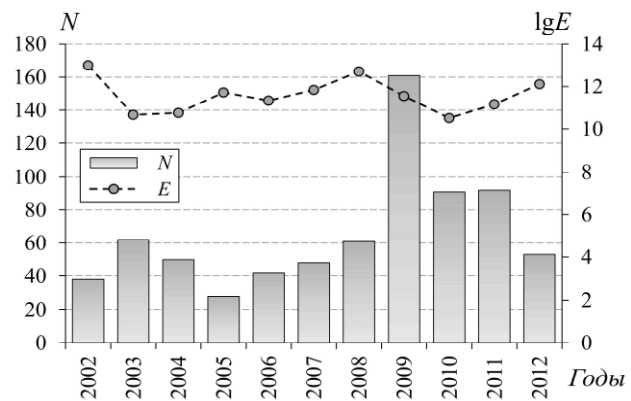
Из табл. 2 следует, что как число землетрясений, так и суммарная энергия в 2012 г. меньше относительно средних значений основных параметров  $\Sigma E$  и  $N_{\Sigma}$  за предыдущий десятилетний период.

Изменение по годам числа землетрясений  $N$  и логарифма суммарной сейсмической энергии  $\lg E$  в регионе за период с 2002 по 2012 г. приведены на рис. 4.

Далее рассмотрим особенности сейсмичности региона по отдельным районам. Распределение числа землетрясений по районам и энергетическим классам, а также сейсмической энергии по районам в 2012 г. представлено в табл. 3. и на рис. 5. Для сравнения приведены также суммарные данные за предыдущий 2011 г.

**В Севастопольском районе (№ 1)** зарегистрировано четыре землетрясения с  $K_{II} = 6.9-8.8$ , два из них представительного уровня  $K_{min} = 8$ . Землетрясение с  $K_{II} = 8.8$  произошло 16 сентября в 21<sup>h</sup>43<sup>m</sup>. Эпицентры всех событий удалены в море на расстояния 77–126 км от станции «Севастополь» при глубине  $h = 14-23$  км.

**В Ялтинском районе (№ 2)** в 2012 г. необычно низкая сейсмическая энергия, высвобожденная в очагах восьми землетрясений. Диапазон энергетических классов равен  $K_{II} = 4.6-7.9$ , эпицентры землетрясений сконцентрированы у побережья Южного берега Крыма на расстояниях 7–29 км от Ялты при глубинах от  $h = 9$  км до  $h = 29$  км.



**Рис. 4.** График распределения числа землетрясений  $N$  и логарифма выделившейся энергии  $\lg E$  в регионе с 2002 по 2012 гг.

**Таблица 3.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_{II}$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по районам за 2012 г.

№	Район	$K_{II}$								$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$
		5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Севастопольский			2	1	1				4	$0.743 \cdot 10^9$
2	Ялтинский	2	4	1	1					8	$0.972 \cdot 10^8$
3	Алуштинский	1	2	2	1					6	$0.168 \cdot 10^9$
4	Судакско-Феодосийский				1					1	$0.501 \cdot 10^8$
5	Керченско-Анапский			6	9	6	3		1	25	$1.285 \cdot 10^{12}$
6	Степной Крым			3	2					5	$0.251 \cdot 10^9$
7	Азово-Кубанский				1	1				2	$0.627 \cdot 10^9$
8	Северо-Западный									0	0
9	Черноморская впадина					2				2	$1.132 \cdot 10^9$
	Всего в 2012 г.	3	6	14	16	10	3	2		53	$1.288 \cdot 10^{12}$
	Всего в 2011 г	11	24	23	20	7	5			92	$1.445 \cdot 10^{11}$

**В Алуштинском районе (№ 3)** зафиксированы шесть землетрясений с  $K_{II}=5.0-8.2$ . Землетрясение с  $K_{II}=8.2$  произошло 4 января в 01<sup>h</sup>04<sup>m</sup>. Очаги четырех толчков находятся на суше в 12–17 км севернее Алушты с глубиной  $h=18-20$  км и двух – в море, на расстоянии 18–20 км с такими же глубинами.

Минимальное (0.004%) относительно других районов количество высвобожденной энергии в очаге единственного землетрясения, зарегистрированного в **Судакско-Феодосийском районе (№ 4)**. Эпицентр этого толчка с  $K_{II}=7.7$  удален в море на расстоянии  $\Delta=107$  км от станции «Судак» при относительно большой глубине  $h=35$  км, располагаясь на границе с районами №№ 2, 3.

Высоким уровнем сейсмической активизации характеризуется **Керченско-Анапский район (№ 5)**. Крымская сеть зарегистрировала 25 землетрясений с  $K_{II}=6.9-12.1$  при глубинах от  $h=1$  до  $h=26$  км. Энергия самого сильного ( $K_{II}=12.1$ ) из них составляет 97.74 % от количества всей сейсмической энергии, высвобожденной в очагах землетрясений региона в 2012 г. Уровень представительной регистрации землетрясений в границах этого района меняется от  $K_{min}=8$  до  $K_{min}=9$ . Семь из 25 землетрясений не представительны. Выше уже отмечено, что землетрясение максимального класса  $K_{II}=12.1$  с глубиной  $h=24$  км реализовано 10 декабря в 16<sup>h</sup>56<sup>m</sup> и его макросейсмические проявления наблюдались в Анапе ( $\Delta=22$  км) с интенсивностью  $I=5$  баллов, в Новороссийске ( $\Delta=31$  км) –  $I=4-5$  баллов [16]. К афтершокам основного толчка можно отнести два землетрясения: 10 декабря в 17<sup>h</sup>43<sup>m</sup>  $K_{II}=8.1$  с глубиной  $h=20$  км и 24 декабря в 11<sup>h</sup>36<sup>m</sup>  $K_{II}=9.1$  с глубиной  $h=26$  км. Эпицентры этих трех толчков – на суше, вблизи границы региона с Северным Кавказом. При этом в течение года пространственное расположение землетрясений в границах Керченско-Анапского района было равномерно рассеяно в акватории моря западнее эпицентра главного толчка до границы с районом № 4, поле эпицентров необычно вытянуто в субширотном направлении. Этому предшествовала двухлетняя асейсмичность прибрежных зон от г. Судак до г. Керчь [18].

В остальных районах региона проявление сейсмичности следующее: продолжается начавшееся в 2010 г. [27] заметное оживление сейсмической деятельности в **Степном Крыму (район № 6)**, где в 2012 г. зафиксировано пять землетрясений с  $K_{II}=6.7-8.1$ , два из них – представительны ( $K_{min}=8$ ). Землетрясение с максимальным значением  $K_{II}=8.1$  произошло 11 июля в 12<sup>h</sup>32<sup>m</sup>. Для четырех землетрясений рассчитана глубина очага, составившая  $h=5-7$  км, что характерно для этого района.

**В Азово-Кубанском районе № 7** на восточном побережье Азовского моря 13 февраля зарегистрирован дуплет землетрясений энергетических классов  $K_{II}=8.7$  и  $K_{II}=8.1$  глубиной  $h=11$  км и  $h=21$  км. Интервал между толчками около трех минут. Первое землетрясение представительно ( $K_{min}=9$ ), момент его возникновения – в 08<sup>h</sup>53<sup>m</sup>.

Третий год продолжается сейсмическое затишье в **Северо-Западном районе № 8**. Из этого района не зафиксировано ни одного толчка. Однако следует отметить, что уровень представительных землетрясений здесь самый высокий ( $K_{min}=9$ ), а значит, возможные более слабые толчки могли быть пропущены существующей системой мониторинга в регионе.

Количество высвобожденной сейсмической энергии в очагах двух землетрясений **Черноморской впадины (район № 9)** равно  $\Sigma E = 1.132 \cdot 10^9$  Дж, что меньше почти в 60 раз значения энергии  $\Sigma E = 6.420 \cdot 10^{10}$  Дж в 2011 г. Таким образом, в 2012 г. по-прежнему наблюдается отмеченная ранее в [29] закономерность о противофазном характере выделения энергии в районе № 5 по отношению к району № 9. Землетрясения с  $K_{\Pi} = 8.7$  и  $8.8$ , глубинами  $h = 16$  и  $h = 8$  км зарегистрированы 16 мая в  $22^{\text{h}}31^{\text{m}}$  и 29 ноября в  $07^{\text{h}}54^{\text{m}}$ .

В целом следует подчеркнуть, что возросшая активность региона обеспечена землетрясением с  $K_{\Pi} = 12.1$ , фактически произошедшим на Северном Кавказе.

В остальных активных районах региона (№№ 2, 3, 4, 9) наблюдалось значительное понижение количества высвобожденной сейсмической энергии по сравнению с энергией в 2011 г. Характер изменения величины сейсмической энергии  $\Sigma E$  в каждом районе региона в 2011 и 2012 годах показан на рис. 5.

**Сейсмический режим и скорость деформирования среды в Крымско-Черноморском регионе в 2012 г.** рассмотрены в сравнении с таковыми за последние 5 лет (2008–2012 гг.). Главные характеристики сейсмического режима – закон повторяемости землетрясений  $N(M, K)$  и сейсмическая активность  $A$  [30]. Надежность графика повторяемости зависит от представительной статистики землетрясений в широком диапазоне энергий, что за один год наблюдений, как, например, в 2012 г., не обеспечивается. В связи с этим в данной работе графики  $N(M, K)$  построены как кумулятивное распределение по энергетическим классам землетрясений, начиная от представительного  $K_i$  и выше за период наблюдений 2008–2012 гг. для региона в целом и отдельно Керченско-Анапского района № 5 (рис. 6). Аппроксимация графика выполнена методом ортогональной регрессии.

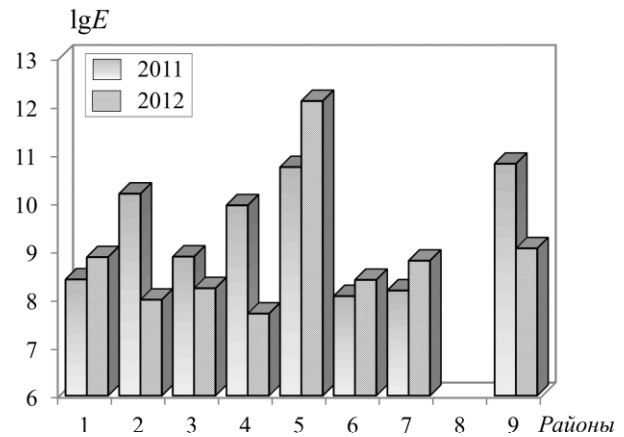


Рис. 5. Распределение величины высвобожденной сейсмической энергии  $\Sigma E$  по районам региона

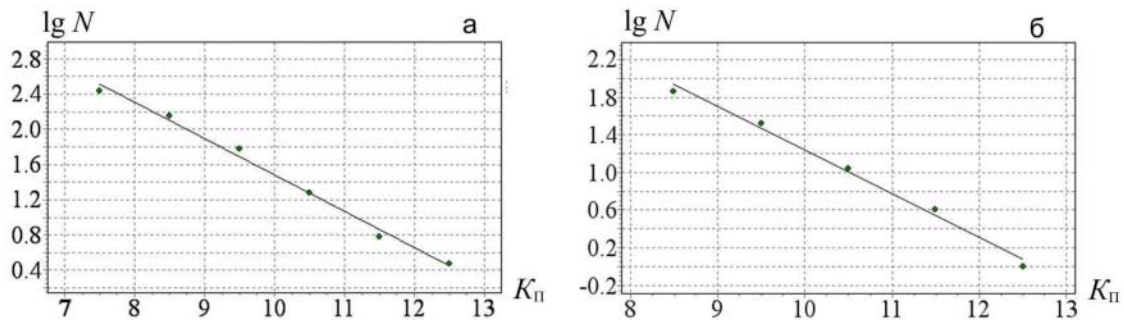


Рис. 6. Графики повторяемости землетрясений за 2008–2012 гг. для всего региона (а) и Керченско-Анапского района (б)

Получено, что в целом для всей совокупности землетрясений график повторяемости прямолинеен и описывается логлинейной зависимостью:

$$\lg N = (5.6 \pm 0.2) - (0.41 \pm 0.02) K_{\Pi}, \quad \rho = 0.98 \text{ – для региона,}$$

$$\lg N_{\Sigma} = (5.9 \pm 0.3) - (0.46 \pm 0.03) \cdot K_{\Pi}, \quad \rho = 0.98 \text{ – для района № 5.}$$

Угловой коэффициент  $\gamma$  для района № 5 оказался несколько выше, чем в целом для региона, что по определению Н.В. Шебалина [31], характеризует большую «сейсмическую дробность» глубинной среды в этой части региона по сравнению с остальными.

Расчет сейсмической активности  $A = \lg N_0$  и ее картирование выполнены методом установленного качества [30], т.е. в зависимости от плотности эпицентров подбиралось разумное соотношение между точностью (по количеству  $N_{\Sigma}$ ) и детальностью  $\Delta S$ . В сейсмологической прак-

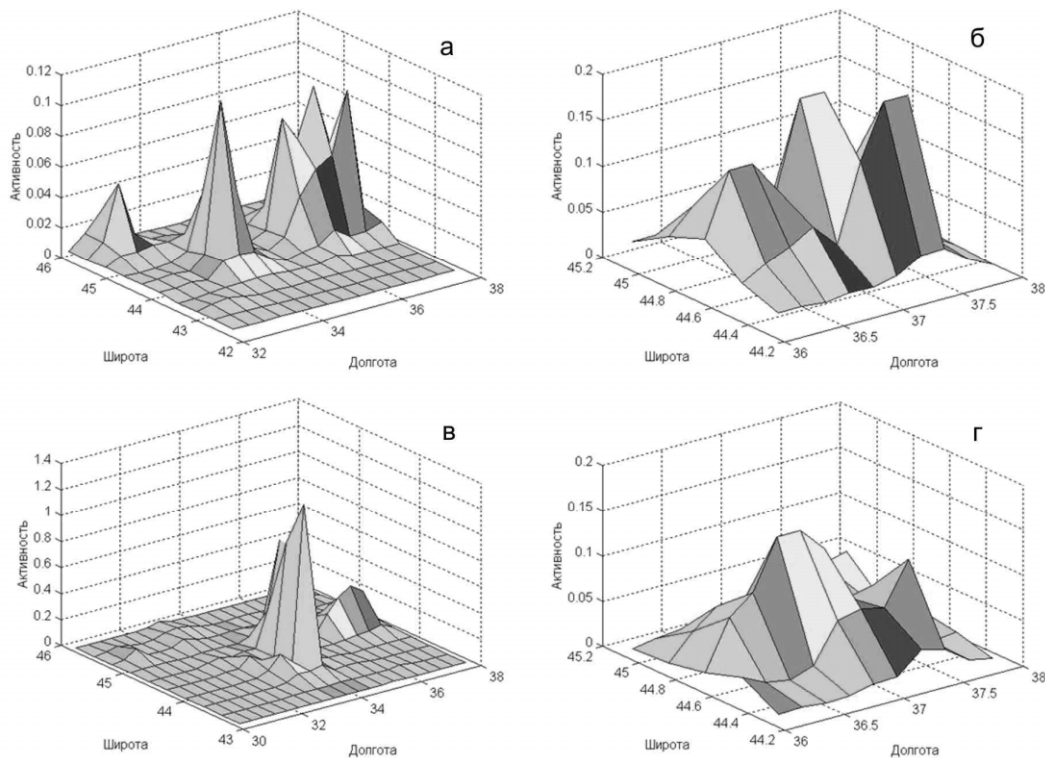
тике принято расчет активности вести по энергетическим классам:  $K_0=10$  или  $K_0=15$ . В данной работе выбрана величина  $A_{10}$  по уровню  $K_0=10$ .

Величина сейсмической активности определялась методом суммирования по формуле из [30]:

$$A = \frac{(1-10^{-\gamma})}{10^{-\gamma(K_{\min}-K_0)}} \cdot \frac{S \cdot N_{\Sigma}}{\Delta S \cdot T},$$

где  $N_{\Sigma}$  – общее число землетрясений, начиная с  $K_{\min}$  и выше, на площади осреднения  $\Delta S$ ;  $K_0$  – энергетический класс, по которому определяется активность;  $S$  – соответствующая фиксированная единичная площадка суммирования;  $T$  – время наблюдения.

Построены четыре карты: две обзорные для всего региона с шагом  $\Delta S_1=0.4 \times 0.4^\circ$ ,  $N_{\Sigma} > 3$  за текущий 2012 г. и период 2008–2012 гг. (рис. 7 а, в) и две детальные с меньшим шагом  $\Delta S_2=0.2 \times 0.2^\circ$ ,  $N_{\Sigma} > 3$  – для Керченско-Анапского района с наибольшей выделенной энергии в 2012 г. за аналогичные периоды (рис. 7 б, г).



**Рис. 7.** Карты поверхности сейсмической активности в единицах  $A_{10}$  для Крымско-Черноморского региона (а, в) и детальная для района № 5 (б, г), за 2012 г. и последние пять лет (2008–2012 гг.) соответственно

Отчетливо видна пространственная и временная неоднородность поля активности  $A_{10}$  с максимальными вершинами в различных частях региона. Наиболее высокий уровень сейсмической активности за последние пять лет  $A_{10}=0.6$  относится к центральной части региона (рис. 7, в). По сравнению с этим, значение  $A_{10}=0.08$  для этой части региона в 2012 г. почти на порядок меньше.

В детальном масштабе для рассматриваемого района № 5 также выделяются места с максимальным и минимальным уровнем активности. Пиковое значения  $A_{10}=0.14$  относится к очаговой зоне Анапского землетрясения 10 декабря 2012 г. (рис. 7, б) и является временной флуктуацией сейсмичности этого района на фоне средних долговременных параметров (рис. 7, г).

**Тектоническая деформация  $\varepsilon$  и скорость деформирования среды  $V_{\varepsilon}$**  за счет землетрясений рассчитаны с использованием понятия течения горных масс [30, 32] по формуле:

$$V_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{t} ; \quad \varepsilon = \frac{1}{2\mu \cdot \Delta V} \sum_{i=1}^N M_0$$

где  $V\epsilon$  – скорость деформации горных масс,  $\mu$  – упругий модуль сдвига материала горных пород,  $\Delta V$  – объемная область, в которой производят расчет,  $t$  – интервал времени,  $N$  – количество очагов землетрясений за время  $t$  в области  $\Delta V$ ,  $M_{0i}$  – сейсмический момент  $i$ -го очага землетрясения.

В 2012 г. общий вклад от землетрясений в тектоническую деформацию среды элементарного объема был незначительным и составил примерно  $10^{-10}$ . Максимальная скорость деформации  $V\epsilon = 1.2 \cdot 10^{-9}$  год $^{-1}$  отмечена только в сейсмоактивном районе № 5 и связана с ощутимым землетрясением 10 декабря 2012 г. с  $K_{П}=12.1$  (рис. 8, а). Для центральной зоны региона за 2012 г. общая деформация среды и скорость примерно на порядок ниже, чем в целом для региона. В предшествующий пятилетний период (2008–2012 гг.) пространственное распределение скорости деформирования среды было иным (рис. 8, б): максимальное значение  $V\epsilon = 2,5 \cdot 10^{-9}$  год $^{-1}$  приходится на западную часть региона, где произошло ощутимое Змеиное землетрясение 08.05.2008 г. [33] с  $K_{П} = 12.7$  и значением деформации  $\epsilon = 1.2 \cdot 10^{-5}$ . Локальные участки земной коры во время землетрясений испытывают деформации, превышающие на несколько порядков средние по всему объему значения. Например, в первые сутки в очаговой зоне ощутимого землетрясения 5 июля 1984 г. скорость деформирования среды составила  $V\epsilon = 10^{-5}$  год $^{-1}$  [34].

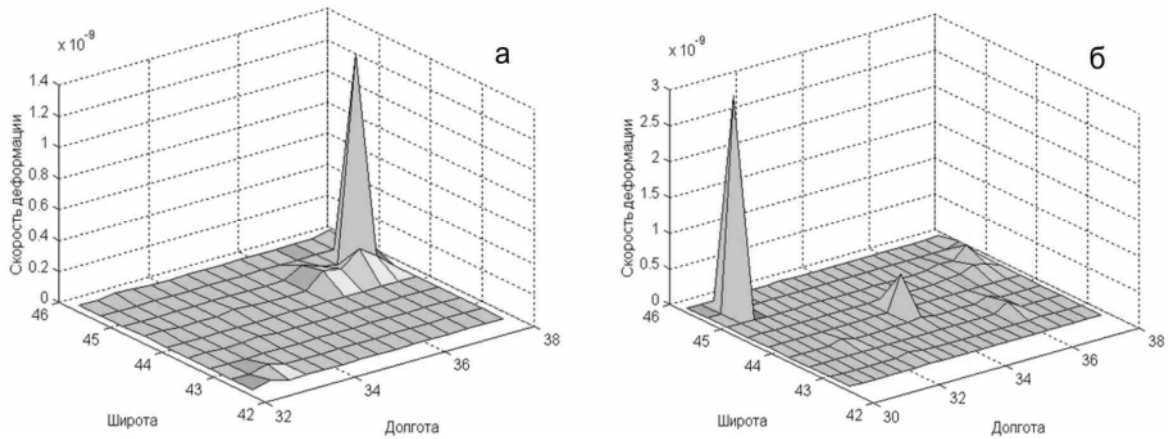


Рис. 8. Пространственное распределение скорости деформации среды ( $\lg V\epsilon$ ) за счет землетрясений в регионе за 2012 г. (а), 2008–2012 гг. (б)

Описанные выше значения  $\epsilon$  и  $V\epsilon$  относятся к довольно большим объемам среды, внутри которых землетрясения представляют собой отдельные включения со своими реальными размерами и местной деформацией в элементарной ячейке (объеме). Деформация в очаге конкретного землетрясения на порядок и более превосходит среднюю деформацию по объему очаговой зоны и на несколько порядков – среднюю тектоническую деформацию (за счет землетрясений) по всему региону. Так только во время ощутимого толчка 10.12.2012 г. деформация среды составила  $3 \cdot 10^{-5}$  [14]. Скорость деформации среды, как и характер снятия напряжений, в пределах региона и отдельных районов существенно изменяется со временем (рис. 9).

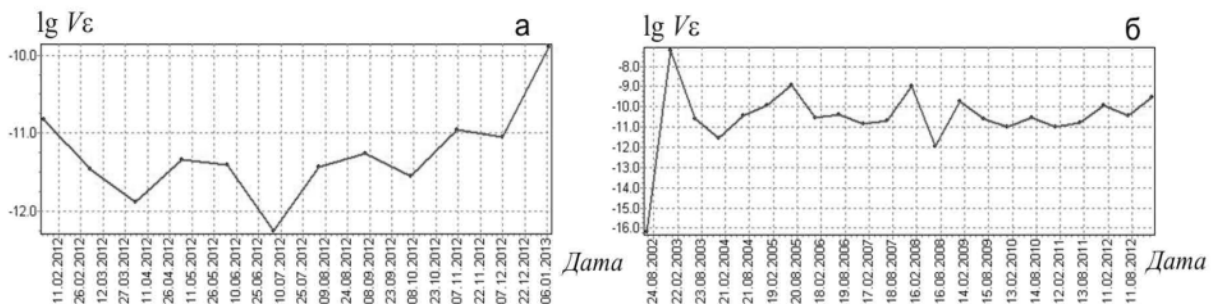


Рис. 9. Изменение со временем скорости деформации среды ( $\lg V\epsilon$ ) за счет землетрясений во всем регионе в 2012 г. (а) и в районе №5 за 2002–2012 гг. (б)



Для примера рассмотрено изменение скорости тектонической деформации  $V\varepsilon$  в пределах региона в 2012 г. (рис. 9 а) с осреднением 1 месяц и за период 2002–2012 г. в Керченско-Анапском районе с интервалами в 0.5 года (рис. 9 б). Видно, что в 2012 г. (рис. 9, а) значения  $V\varepsilon$  для всего региона со временем изменялись от минимального значения  $V\varepsilon=10^{-12}$  год<sup>-1</sup> до максимального –  $V\varepsilon=10^{-10}$  год<sup>-1</sup>, связанного с наиболее сильным землетрясением в конце года (10.12.2012 г.). На временном ходе  $\lg V\varepsilon(t)$  в Керченско-Анапском районе за период 2002–2012 гг. (рис. 9, б) заметен общий спад скорости деформации среды после наиболее сильного Нижнекубанского-II землетрясения 09.11.2002 г. с  $K_p=13.0$  [35] и ее квазипериодический характер, связанный с квазипериодичностью возникновения относительно сильных землетрясений в данной зоне.

### Л и т е р а т у р а

1. **Панков Ф.Н. (отв. сост.).** Сейсмические станции Крымско-Черноморского региона в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.
2. **Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е.** Динамика эффективности сети сейсмических станций Крыма // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 159–165.
3. **Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А.** Модель сейсмической опасности северо-западной части Чёрного моря // Геофизический журнал. – 2012. – № 5. – С. 87–101.
4. **Свидлова В.А., Пасынков Г.Д.** Сейсмичность Крыма в 2012 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2012 год. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2013. – С. 6–10.
5. **Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Пасынков Г.Д.** Оценка представительности землетрясений Крыма по материалам цифровых станций // Сейсмологический бюллетень Украины за 2009 год. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ Гидрофизика», 2011. – С. 65–67.
6. **Кульчицкий В.Е.** Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (GIPO-08) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2010. – С. 28–33.
7. **Пустовитенко Б.Г., Лущик А.В., Боборыкина А.В., Кульчицкий В.Е., Можжерина А.В., Насонкин В.А., Панков Ф.Н., Поречнова Е.Н., Пустовитенко А.А., Тихоненков Э.П., Швырло Н.И.** Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ Гидрофизика», 2014. – 264 с.
8. **Кульчицкий В.Е., Пустовитенко Б.Г., Свидлова В.А.** Об искажении координат гипоцентров местных землетрясений при некорректном использовании экспериментальных данных о кинематических параметрах сейсмических волн // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 477–494.
9. **Мехрюшев Д.Ю., Янков А.Ю., Погода Э.В., Даниялов М.Г., Габсатарова И.П., Пойгина С.Г.** Сейсмические станции ГС РАН в хронологии их открытия в аналоговом и/или цифровом варианте, работающие на территории Северного Кавказа в 2009 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – (На CD).
10. **Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П.** Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
11. **Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е.** Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 113–125.
12. **Пустовитенко Б.Г., Раутиан Т.Г., Свидлова В.А.** Определение магнитуд и энергетических классов землетрясений по наблюдениям в Крымском регионе // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым – Карпаты за 1978–1979). – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 126–138.
13. **Hanks T.C., Kanamori H.** A Moment Magnitude Scale // J. Geophys. Res. – 1979. – **84**. – N 135. – P. 2348–2350.

14. Пустовитенко Б.Г., Калинин И.В., Пустовитенко А.А. Очаговые параметры землетрясений Крымско-Черноморского Региона // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 286–293.
15. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
16. Габсатарова И.П., Малянова Л.С., Селиванова Е.А., Якушева В.Н. Землетрясение 10 декабря 2012 года с  $M_w=4.6$  вблизи Анапы // Сейсмологический бюллетень Украины за 2012 год. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2013. – С. 35–45.
17. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD\_ROM.
18. Свидлова В.А., Козиненко Н.М., Барзут Л.Г. Крымско-Черноморский регион // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 48–54.
19. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2002 год // Землетрясения Северной Евразии, 2002 год. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – (На CD).
20. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2003 год Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – (На CD).
21. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2004 год // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – (На CD).
22. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2005 год ( $N=29$ ) // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – (На CD).
23. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2006 г. ( $N=42$ ) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – (На CD).
24. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М., (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2007 г. ( $N=49$ ) // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – (На CD).
25. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2008 г. ( $N=61$ ) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – (На CD).
26. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2009 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – (На CD).
27. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2010 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – (На CD).
28. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD\_ROM.
29. Пустовитенко А.Н., Пустовитенко А.А., Свидлова В.А., Михайлова Р.С. Крым // Землетрясения Северной Евразии в 2001 г. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 64–73.
30. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии (Избранные труды). – М.: Наука, 1985. – 408 с.
31. Шебалин Н.В. Сильные землетрясения (Избранные труды). – М.: Наука, 1997. – 540 с.
32. Юнга С.А. Методы и результаты изучения сейсмических деформаций. – М.: Наука, 1990. – 191 с.
33. Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Скляр А.М., Князева В.С. Змеиное землетрясение 5 мая 2008 г. с  $K_T=12.7$ ,  $M_c=5.1$ ,  $M_w=4.8$ ,  $I_0^p=5-6$  (северо-западная часть шельфа Чёрного моря, Украина) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 313–325.
34. Пустовитенко Б.Г., Береснев А.А. Сейсмоструктурная деформация среды в Крымско-Черноморском регионе // Материалы Международной конференции «Строение, живая тектоника и дислокации платформ и их горно-складчатых обрамлений». – М.: ВНИИ Геофизика, 2003. – С. 213–214.
35. Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А. Нижнекубанское-II землетрясение 9 ноября 2002 года с  $K_p=13.0$ ,  $M_w=5.5$ ,  $I_0=6$  (Северный Кавказ) // Землетрясения Северной Евразии, 2002. – Обнинск: ГС РАН. 2008. – С. 357–379.