

КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКИЙ РЕГИОН

В.А. Свидлова¹, Г.Д. Пасынков¹, Р.С. Михайлова²

¹Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, seismosilver@mail.ru

²Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, raisa@gstras.ru

Название региона изменено с учетом реального расположения эпицентров регистрируемых землетрясений и в память о выдающемся сейсмологе И.И. Попове, применявшем ранее это название [1], хотя возникает оно и сейчас [2]. В 2010 г. инструментальные сейсмологические наблюдения проводились сетью из семи стационарных сейсмических станций Крыма: «Симферополь», «Севастополь», «Ялта», «Алушта», «Феодосия», «Судак», «Керчь». Все станции оснащены только цифровой аппаратурой. На станциях «Симферополь» и «Ялта» используется цифровая аппаратура типа SDAS (Seismic digital acquisition station) российского производства, изготовленная фирмой «Геотех+» (г. Обнинск) [3]; на остальных – типа MSP-III, разработанная и изготовленная на базе микропроцессорного модуля MSP430F149 в отделе сейсмологии в Крыму [4]. Сведения о станциях и параметрах регистрирующей аппаратуры представлены в [5]. Представительность регистрации землетрясений разных классов, обеспечиваемая этой сетью сейсмических станций, по сравнению с [6], не изменилась и дана на рис. 1.

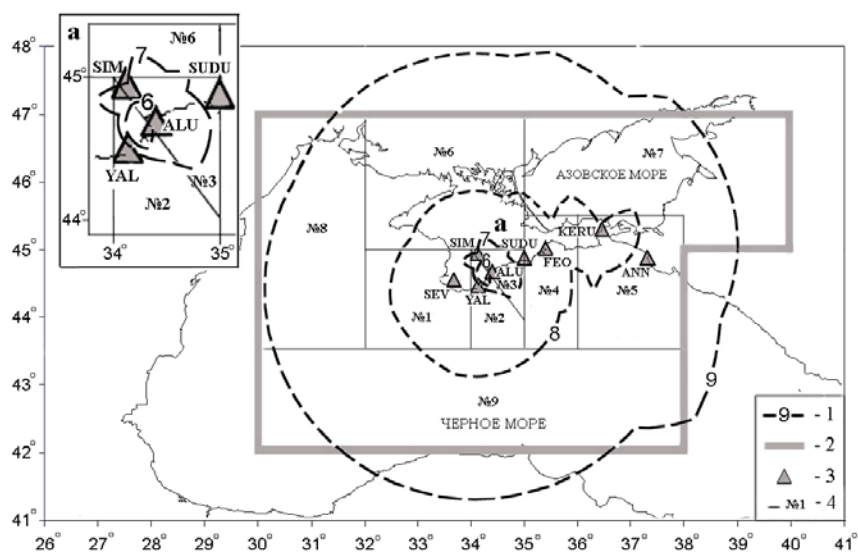


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений K_{\min} Крымско-Черноморского региона по данным цифровых сейсмических станций из [6]

1 – изолиния K_{\min} (на врезке а – детальная картина изолиний $K_{\min}=6$ и $K_{\min}=7$); 2 – граница региона; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района.

Как видим, слабые землетрясения с $K_{\Pi}=6, 7$ регистрируются без пропусков на площади между станциями «Симферополь», «Ялта», «Алушта». Изолиния $K_{\min}=8$ покрывает практически весь полуостров Крым и значительную часть прибрежной акватории Черного моря. Представительная регистрация землетрясений с $K_{\min}=9$ обеспечивается практически на всей территории Крымско-Черноморского региона.

Обмен информацией между станциями и с региональным центром сбора данных, базирующемся на станции «Симферополь», осуществляется по электронной почте. Станционная обработка полученных цифровых сейсмических записей и их сохранение выполняется по программному комплексу WSG [7]. Для обработки землетрясений из районов, приграничных

с Северным Кавказом, используются данные станции ГС РАН «Анапа», входящей в сеть Северного Кавказа [8].

В региональный каталог Крыма за 2010 г. [9] включены основные параметры 91 землетрясения. Классификация землетрясений в каталоге выполнена по энергетическим классам K_{II} [10] для всех землетрясений, а также магнитудам M_s по коде [11] – для 9 и моментным магнитудам M_w [12] – для 19 землетрясений. Диапазон энергетических классов равен $K_{II}=4.6-10.2$, диапазон магнитуд – $M_s=1.7-2.8$, $M_w=2.5-3.6$ соответственно. Максимальное ($K_{II}=10.2$, $M_s=2.8$, $M_w=3.6$) землетрясение произошло 24 июля в 18^h55^m в 48 км к юго-западу от Севастополя (рис. 2), оно же является единственным ощутимым в 2010 г. землетрясением [13]. Для 19 событий получены спектральные и динамические параметры очагов [14]. Пространственное расположение эпицентров зарегистрированных землетрясений дано на рис. 2.

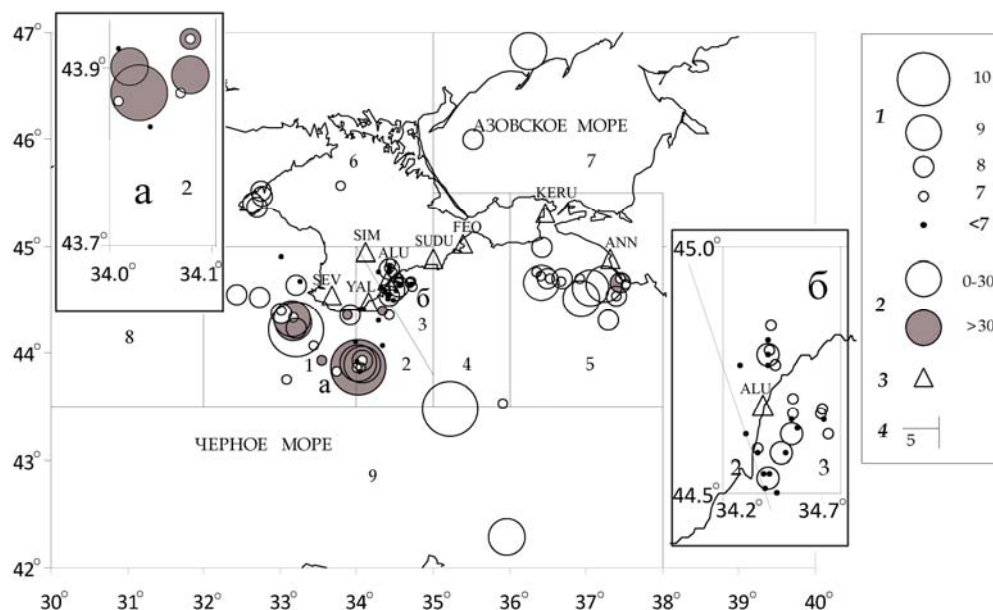


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2010 г.

1 – энергетический класс K_{II} ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района. На врезках – юго-западная часть района № 2 (а) и район № 3 (б).

В 2010 г. в Крыму отмечен спад сейсмической активности, выраженный в снижении суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E \sim 3.3 \cdot 10^{10}$ Дж) наблюдаемых землетрясений и их числа ($N_{\Sigma}=91$), по сравнению с аналогичными параметрами ($\Sigma E \sim 3.5 \cdot 10^{11}$ Дж, $N_{\Sigma}=161$) за 2009 г. [15]. Общее число зарегистрированных землетрясений уменьшилось почти в два раза, суммарная энергия, высвободившаяся в очагах всех землетрясений, снизилась на порядок. На рис. 3 показаны изменения по годам числа землетрясений N и выделившейся энергии ΣE в регионе за 20 лет – с 1991 по 2010 гг.

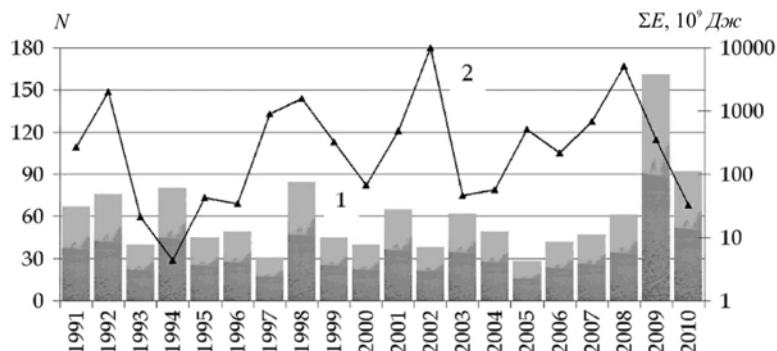


Рис. 3. График распределения числа землетрясений N (1) и выделившейся энергии ΣE (2) в регионе за 20 лет – с 1991 по 2010 гг.

Как видим, общее число землетрясений в 2010 г. осталось выше ординарных ежегодных значений за последний двадцатилетний промежуток наблюдений, при этом выделившаяся сейсмическая энергия близка к экстремально низким годовым значениям за тот же промежуток времени.

На рис. 4 отражена динамика возникновения землетрясений различных энергетических классов в течение года.

На графике отчетливо видно, что в 2010 г. не было периодов затишья и сейсмическая деятельность проявлялась более равномерно, чем обычно в течение слабоактивного года. В январе, ноябре и декабре отмечено наибольшее число землетрясений, а в июне, августе и сентябре – наименьшее.

Распределение числа землетрясений по районам и энергетическим классам, а также сейсмической энергии по районам в 2010 г. представлено в табл. 1. Для сравнения в нижней строке таблицы приведены суммарные данные за 2009 г.

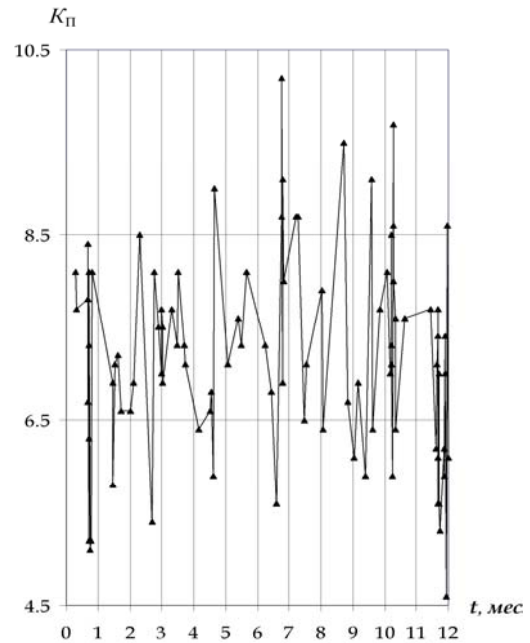


Рис. 4. Временной ряд значений энергетических классов землетрясений $K_{П}$ в 2010 г.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам $K_{П}$ и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам за 2010 г.

№	Район	$K_{П}$							N_{Σ}	$\Sigma E, Дж$
		5	6	7	8	9	10	11		
1	Севастопольский		3	7	6	2	1		19	$1.807 \cdot 10^{10}$
2	Ялтинский	1	5	5	1	2	1		15	$5.900 \cdot 10^9$
3	Алуштинский	5	10	10	4				29	$6.160 \cdot 10^8$
4	Судакско-Феодосийский			1					1	$5.000 \cdot 10^6$
5	Керченско-Анапский			8	6	4			18	$3.690 \cdot 10^9$
6	Степной Крым			1	4				5	$2.160 \cdot 10^8$
7	Азово-Кубанский				1	1			2	$6.270 \cdot 10^8$
8	Северо-Западный								0	
9	Черноморская впадина					1	1		2	$3.560 \cdot 10^9$
	Всего в 2010 г.	6	18	32	22	10	3		91	$3.268 \cdot 10^{10}$
	Всего в 2009 г.	17	60	43	26	8	5	2	161	$3.488 \cdot 10^{11}$

Ниже описана сейсмичность региона по отдельным районам.

Распределение числа землетрясений и суммарной выделенной энергии по районам не типичное: на фоне умеренного сейсмического процесса во всем регионе наблюдалось значительное повышение активности в **Севастопольском районе (№ 1)**. Здесь зарегистрировано упомянутое выше самое сильное ($K_{П}=10.2$) землетрясение – высвободилось более половины (55.29%) годовой сейсмической энергии региона. Суммарная энергия ($\Sigma E=1.8 \cdot 10^{10}$ Дж, табл. 1), выделенная в очагах 19 землетрясений Севастопольского района с $K_{П}=5.9-10.2$ [9], на три порядка выше таковой в 2009 г. ($\Sigma E=4.2 \cdot 10^7$ Дж [15]). Землетрясение с $K_{П}=10.2$ произошло на глубине $h=28$ км. Его макросейсмический эффект слабый – интенсивность сотрясений в г. Севастополь составила $I=2$ балла по шкале MSK-64 [16].

Такая сейсмическая обстановка в Севастопольском районе является продолжением процесса повышения активности в 2009 г. в пограничном районе (№ 2) [15], с проработкой в 2010 г. центральной части региона, о чем свидетельствует радиальная диаграмма на рис. 5.

На диаграмме дано сравнение распределения высвободившейся энергии в очагах землетрясений центральной части региона (районы №№ 1–4) по азимутам на эпицентр в 2009

и 2010 гг. В 2009 г. максимум сейсмической энергии выделился в азимутальном створе $AZM=170^{\circ}-190^{\circ}$. В 2010 г. максимум сместился до азимутов $AZM=210^{\circ}-230^{\circ}$, при этом энергия землетрясений более равномерно рассеяна по азимутальному полю.

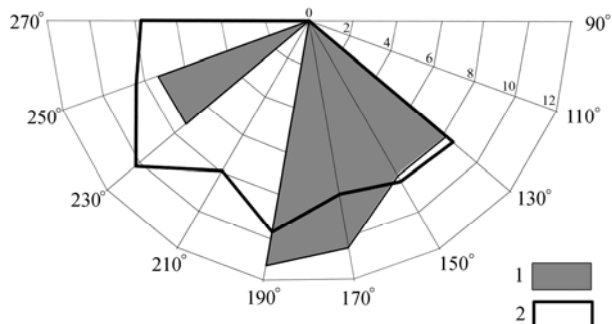


Рис. 5. Диаграмма распределения $\lg \Sigma E$ по азимутам в 2009 г. (1) и в 2010 г. (2)

Она связана с Симеизским землетрясением 12.04.2009 г. с $K_{II}=11.2$ [17], где было указано, что возможно продолжение активизации этой очаговой зоны. Эпицентры девяти землетрясений с $K_{II}=5.9-9.7$ расположены по широте немного южнее, но совпадают по долготе (см. врезку «а» на рис. 2), формируя небольшой рой (табл. 2), с максимальным толчком на уровне $K_{II}=9.7$, зарегистрированным 8 ноября в $11^{\text{h}}52^{\text{m}}$.

Таблица 2. Список роя землетрясений на врезке «а» в ноябре 2010 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			K_{II}
			φ°, N	λ°, E	$h, км$	
1	05.11	22 58 54.2	43.93	34.08	35	7.0
2	06.11	07 40 47.6	43.87	34.07	27	7.1
3	06.11	10 49 24.0	43.89	34.08	33	8.5
4	06.11	13 10 20.7	43.86	34.01	29	7.3
5	06.11	15 06 34.0	43.92	34.01	42	5.9
6	08.11	11 52 35.3	43.87	34.03	35	9.7
7	08.11	16 10 00.2	43.90	34.02	35	6.6
8	08.11	21 43 35.3	43.93	34.08	35	8.0
9	10.11	21 16 41.8	43.83	34.04	26	6.4

Глубины гипоцентров этих толчков колеблются в интервале $h=26-42 км$, т.е., как и глубины событий апрельской серии 2009 г., превышают превалирующую глубину $h=20-25 км$ для региона в целом [2]. Именно этим землетрясениям соответствует другой экстремум азимутальной диаграммы за 2010 г. и приходится на диапазон $\alpha=170^{\circ}-190^{\circ}$.

Самый активный в 2010 г. по числу ($N=29$) толчков **Алуштинский район (№ 3)** (табл. 1), преимущественно за счет фоновых землетрясений с $K_{II}=4.6-8.4$, эпицентры которых расположены в непосредственной близости к станции (см. врезку «б» на рис. 2). Семь из них (табл. 3), в том числе с $K_{II}=8.4$, произошли 21 января в течение 12 часов.

Таблица 3. Список роя землетрясений на врезке «б», зарегистрированных 21 января 2010 г.

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			K_{II}
			φ°, N	λ°, E	$h, км$	
1	21.01	08 00 21.5	44.76	34.47	15	6.7
2	21.01	08 00 25.8	44.78	34.43	16	8.4
3	21.01	08 08 31.6	44.78	34.43	16	5.2
4	21.01	09 10 20.8	44.81	34.43	15	6.3
5	21.01	17 53 46.1	44.79	34.44	15	7.3
6	21.01	17 54 16.1	44.81	34.43	15	5.1
7	21.01	20 16 46.4	44.81	34.43	15	5.1

Эпицентры этих толчков локализованы на суше, северо-восточнее Алушты, на расстоянии $\Delta=10-14$ км при глубине $h=15-16$ км.

Району № 4 в 2010 г. возвращено название **Судакско-Феодосийский** (табл. 1), используемое до 1991 г. [18]. В этом районе отмечено только одно слабое ($K_{II}=6.7$) землетрясение, зарегистрированное 25 сентября в 16^h12^m [9].

Рассмотрим более широко процесс высвобождения сейсмической энергии в рассмотренных выше четырех основных районах региона, наиболее опасных для Крыма: Севастопольском, Ялтинском, Алуштинском, Судакско-Феодосийском (см. рис. 6) с 1990 по 2010 г.

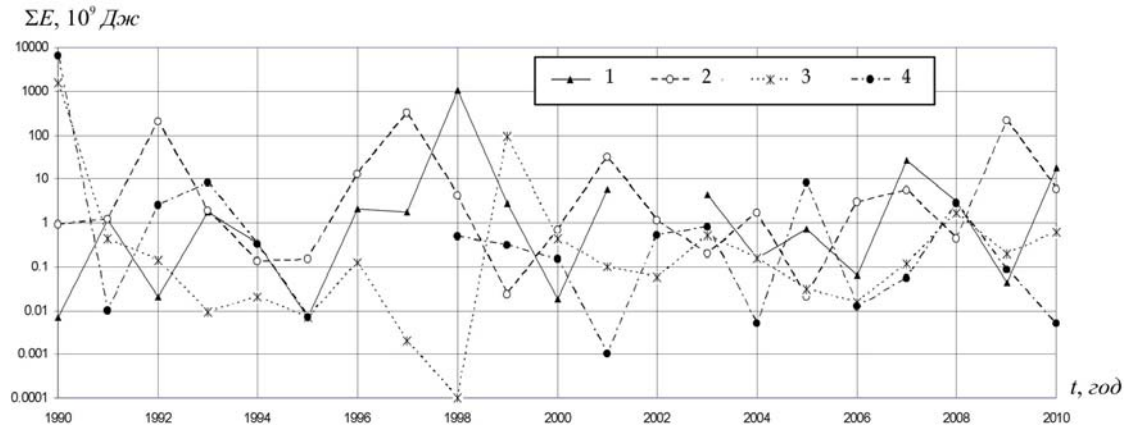


Рис. 6. Распределение выделившейся энергии ΣE с 1990 по 2010 г. по четырем районам
1 – Севастопольский; 2 – Ялтинский; 3 – Алуштинский; 4 – Судакско-Феодосийский.

В начале этого временного интервала, а именно в 1990 г., произошло три ощутимых землетрясения: одно 16 августа с $K_{II}=12.8$, $h=28$ км, $I_0=4$ балла в Судакско-Феодосийском районе, практически на границе с Алуштинским, и два – 29 июня с $K_{II}=10.8$, $h=17$ км, $I_0=4-5$ баллов и 2 июля с $K_{II}=10.9$, $h=14$ км, $I_0=5$ баллов – в самом Алуштинском районе [19, 20]. Сопоставляя распределение во времени выделенной в 1990–2010 гг. энергии по районам, можно увидеть, что после необычной активизации в 1990 г. в этих двух районах [21] и во всей центральной части региона (районы №№ 1–4), сейсмический режим постепенно восстанавливался в течение 10 лет, но с 2000 г. сохраняется примерно на одном уровне (рис. 6).

В остальных районах региона проявление сейсмичности в 2010 г. следующее: на прежнем уровне, по сравнению с таковым в 2009 г. [15], сохранилась сейсмическая активность **Керченско-Анапского района (№ 5)**. Энергия 18 землетрясений с $K_{II}=6.8-9.1$ составила $\sim 11\%$ годовой сейсмической энергии региона.

Но в **Степном Крыму (район № 6)** заметно оживление сейсмической деятельности. Этот слабоактивный район обычно отличается отдельными редкими событиями. В этом году после 14 месяцев затишья зафиксировано сразу пять землетрясений с $K_{II}=7.1-7.8$. Три землетрясения (21 января в 03^h59^m с $K_{II}=7.8$, 26 октября в 14^h30^m с $K_{II}=7.7$, 19 ноября в 01^h18^m с $K_{II}=7.6$) – поверхностные, их глубина $h=2-9$ км, два (10 апреля в 13^h44^m с $K_{II}=7.7$, 17 августа в 04^h41^m с $K_{II}=7.1$) – заглубленные, с $h=20$ и 16 км соответственно [9].

В **Азово-Кубанском районе (№ 7)**, как и в 2009 г. [15], произошло два землетрясения. Они зарегистрированы 23 января в 05^h07^m и 9 августа в 18^h12^m [9]. Однако их суммарная энергия, равная $\Sigma E=6.27 \cdot 10^8$ Дж, оказалась в 1.8 раза выше выделившейся энергии в 2009 г. ($\Sigma E=3.51 \cdot 10^8$ Дж [15]). Энергетические классы этих событий равны $K_{II}=8.1$ и 8.7, глубины – $h=5$ км и 9 км. Эпицентр землетрясения с $K_{II}=8.7$ на северном побережье Азовского моря близок к ощутимому Осипенковскому (Бердянскому) землетрясению 31.06.2006 г. с $M_w=3.3$, $I_0=5$ [22, 23].

Завершилась двухлетняя [24, 15] необычно высокая сейсмическая активность в **Северо-Западном районе (№ 8)**, проявившаяся в основном в очаговой зоне Змеиного землетрясения 07.05.2008 г. с $K_{II}=12.7$ [25]. Однако в 2010 г. здесь не зафиксировано ни одного толчка.

В **Черноморской впадине (район № 9)** наблюдалось увеличение почти в два раза высвободившейся сейсмической энергии ($\Sigma E=3.56 \cdot 10^9$ Дж) в очагах двух зарегистрированных

21 сентября в 07^h32^m и 30 декабря в 23^h22^m землетрясений, по сравнению с сейсмической энергией ($\Sigma E=1.82 \cdot 10^9$ Дж) этого района в 2009 г. [15]. Энергетические классы этих событий равны $K_{II}=9.5$ и 8.6 , глубины – $h=21$ км и 23 км [9].

В заключение отметим, что в 2010 г. в регионе в целом наблюдалась нормальная сейсмичность: энерговыделение продолжало падать после экстремального выброса в краевом районе в 2008 г. Наиболее активной была центральная часть региона.

Л и т е р а т у р а

1. Попов И.И., Дубинский И.Б., Капитанова С.А., Пустовитенко Б.Г. Землетрясения Крымско-Черноморского региона // Сейсмический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН (Крым-Карпаты) в 1970–1974 гг. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 4–20.
2. 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 В.Г. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ Гидрофизика», 2014. – 264 с.
3. Цифровая сейсмическая станция SDAS. Описание и инструкция по эксплуатации. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 2004. – 94 с.
4. Пасынков Г.Д., Шаторный Б.И., Свидлова В.А., Козиненко Н.М. Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 59–64.
5. Пасынков Г.Д. (отв. сост.). Сейсмические станции Крымско-Черноморского региона в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Пасынков Г.Д. Оценка представительности землетрясений Крыма по материалам цифровых станций // Сейсмологический бюллетень Украины за 2009 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, 2011. – С. 65–67.
7. 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.
8. 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).
9. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
10. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – Т. 2. – С. 113–125.
11. 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.
12. Hanks Т.С., Kanamori Н. A Moment Magnitude Scale // J. Geophys. Res. – 1979. – **84**. – N 135. – P. 2348–2350.
13. Козиненко Н.М. (сост.). Макросейсмический эффект ощутимого землетрясения в населенных пунктах Крымско-Черноморского региона в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
14. Пустовитенко Б.Г., Калинюк И.В., Мерзей Е.А. Динамические параметры очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст. сб.).
15. Свидлова В.А., Пасынков Г.Д. Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 58–62.
16. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

17. **Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А.** Симеизское землетрясение 12 апреля 2009 г. с $K_{II}=11.2$, $M_w=4.3$, $I_0=4$ (Крым) // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 283–291.
18. **Пантелеева Т.А., Свидлова В.А.** Землетрясения Крыма // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1997. – С. 13–14.
19. **Пустовитенко А.Н., Пантелеева Т.А.** Землетрясения Крыма // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – С. 20–23.
20. **Свидлова В.А. (отв. сост.).** Региональный каталог землетрясений Крыма в 1990 г. // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – С. 139–140.
21. **Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.Н., Пантелеева Т.А., Поречнова Е.И.** Особенности сейсмичности Крымско-Черноморского региона в 1990 г. // Сейсмологический бюллетень Западной зоны системы сейсмических наблюдений Украины и Молдовы за 1990 год. – С. 156–162.
22. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Князева В.С., Бушмакина Г.Н.** Бердянское землетрясение 31.07.2006 // Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2008. – С. 27–30.
23. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Князева В.С., Бушмакина Г.Н., Габсатарова И.П.** Две версии изосейст Осипенковского (Бердянского) землетрясения 31 июля 2006 г. с $M_w=3.3$, $I_0=5$ (Украина, Запорожская обл.) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 359–366.
24. **Свидлова В.А., Пустовитенко А.А., Пасынков Г.Д.** Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 67–73.
25. **Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Скляр А.М., Князева В.С.** Змеиное землетрясение 7 мая 2008 г. с $K_{II}=12.7$, $M_c=5.1$, $M_w=4.8$, $I_0^p=5-6$ (западная часть шельфа Черного моря) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 313–325.