

**КРЫМ****В.А. Свидлова, А.А. Пустовитенко, Г.Д. Пасынков***Отдел сейсмологии Института геофизики НАН Украины,  
г. Симферополь, seimosilver@mail.ru*

Сеть стационарных сейсмических станций Крыма в 2008 г. не изменилась (табл. 1). Аппаратурное обеспечение детально описано в [1]. Все станции работали в непрерывном режиме.

**Таблица 1.** Сейсмические станции Крыма (в хронологии их открытия), работавшие в 2008 г.

№	Станция			Дата открытия	Начало цифровой регистрации	Координаты			Подпочва
	Название	Код				$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_y, m$	
		межд.	рег.						
1	Феодосия	FEO	Фдс	11.10.1927	06.09.2006	45.02	35.39	40	мергелистая глина
2	Ялта	YAL	Ялт	13.13.1928	05.07.2000	44.48	34.15	23.6	шиферные сланцы
3	Симферополь	SIM	Смф	14.05.1928	25.06.2000	44.95	34.12	275	нуммулитовый известняк
4	Севастополь	SEV	Свс	28.06.1928	06.09.2006	44.54	33.68	42	суглинки
5	Алушта	ALU	Алш	03.10.1951	19.07.2006	44.68	34.40	61	глинистые сланцы
6	Судак	SUDU	Суд	18.10.1988	29.07.2006	44.89	35.00	108	глинистые сланцы
7	Керчь	KERU	Кер	19.05.1997	06.03.2007	45.31	36.46	50	мшанковый известняк

Сведения о параметрах основной регистрирующей аппаратуры приведены в табл. 2. Станционная и сводная обработка полученных цифровых сейсмических записей выполнялась по программному комплексу WSG [2]. Материалы инструментальных наблюдений с региональных станций поступают в Симферополь по электронной почте. Для обработки землетрясений из районов, приграничных с Северным Кавказом, используются данные станции «Анапа» (Россия).

**Таблица 2.** Данные о параметрах цифровой аппаратуры сейсмических станций Крыма, работавших в 2008 г.

Название станции	Тип датчика	Каналы	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Эффективная разрядность АЦП	Чувствительность, отсчет/(м/с)
Симферополь	СКД	BH (N, E, Z) v	0.01–4	20	16	$2.5 \cdot 10^8$
	СМ-3	EH (N, E, Z) v	0.1–20	100	16	$1.9 \cdot 10^9$
Ялта	СКД	BH (N, E, Z) v	0.015–4	20	16	$3.3 \cdot 10^9$
	СМ-3	EH (N, E, Z) v	0.2–20	100	16	$3.1 \cdot 10^9$
Алушта	ВЭГИК	SH (N, E, Z) v	0.2–10	64	12	$6.3 \cdot 10^9$
Судак	СКМ-3	SH (N, E, Z) v	0.2–10	64	12	$2.9 \cdot 10^9$
Севастополь	СКМ-3	SH (N, E, Z) v	0.2–10	64	12	$1.9 \cdot 10^9$
Феодосия	ВЭГИК	SH (N, E) v	0.2–10	64	12	$2.5 \cdot 10^9$
	СКМ-3	SH (Z) v	0.2–10	64	12	$2.5 \cdot 10^9$
Керчь	ВЭГИК	SH(N, E, Z) v	0.2–10	64	12	$6.4 \cdot 10^9$

Примечание. Символом «v» обозначен велосиграф.

Продолжена аналоговая регистрация каналами СХ на станциях «Симферополь» и «Алушта» (табл. 3), в основном для динамических оценок местных землетрясений.

Таблица 3. Параметры сейсмографов аналоговых каналов сейсмических станций в 2008 г.

№	Название станции	Тип прибора	Компоненты	$T_s$ , с	$D_s$	$T_g$ , с	$D_g$	$\sigma^2$	$V_{max}$	$T_{max}$ , с	Скорость развертки, мм/мин
1	Симферополь	СХ	Е	1.00	0.7	0.36	3.0	0.227	16000	0.2–0.8	60
2	Алушта	СХ	Е	0.752	0.74	0.22	1.7	0.220	20000	0.2–0.5	60

Расположение станций и изолинии энергетической представительности землетрясений  $K_{min}$ , построенные по материалам наблюдений цифровой аппаратурой [3], показаны на рис. 1.

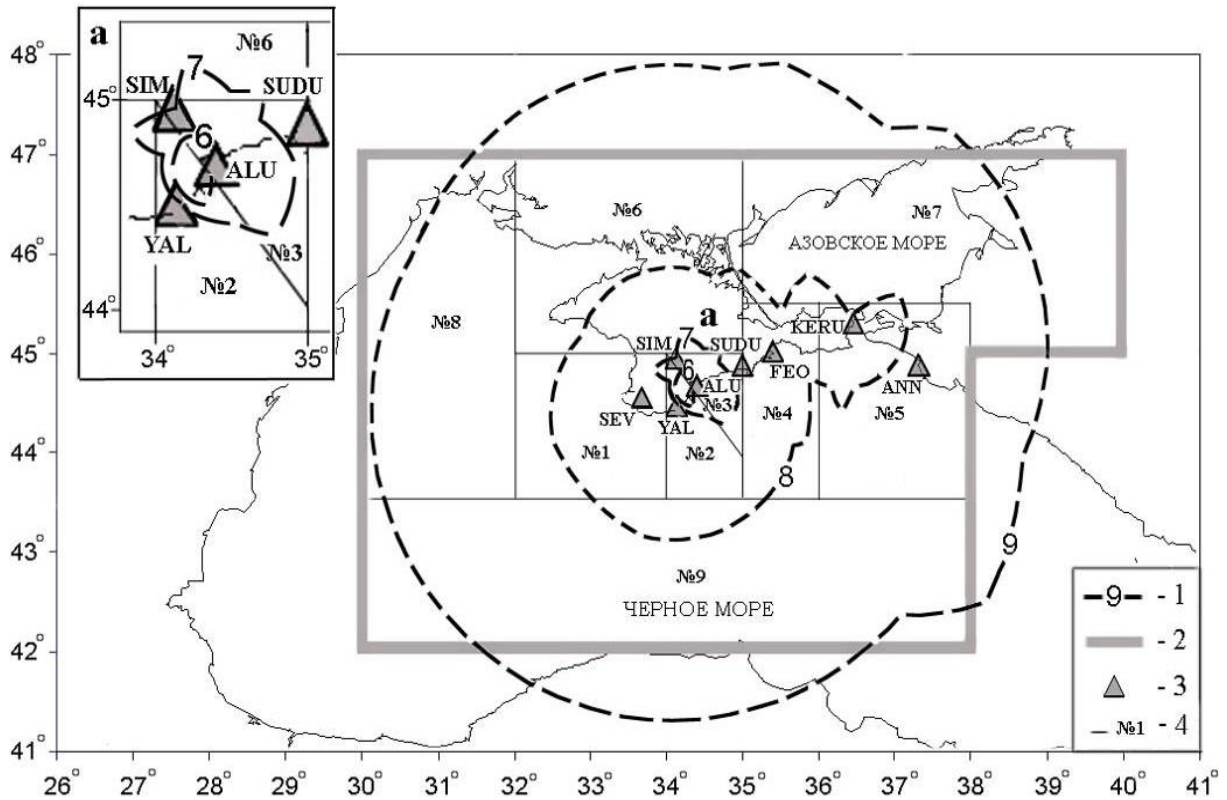


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений  $K_{min}$  Крыма за 2008 г.

1 – изолиния  $K_{min}$ ; 2 – граница региона; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района; на врезке изолинии  $K_{min}=6$  и 7.

Настоящая сеть сейсмических станций обеспечивает представительную регистрацию землетрясений с  $K_{min}=9$  практически на всей территории Крымского региона.

В региональный каталог [4] Крыма за 2008 г. включены основные параметры 61 землетрясения с энергетическими классами  $K_{II}=5.2-12.7$ . Для восьми событий получены спектральные и динамические параметры очагов с использованием как аналоговых, так и цифровых записей [5] и для одного – решение механизма очага [6]. Ощутимых землетрясений два: 7 мая в 08<sup>h</sup>00<sup>m</sup> с  $K_{II}=12.7$  и 4 ноября в 17<sup>h</sup>41<sup>m</sup> с  $K_{II}=9.2$  в районах № 8 и № 5 соответственно [4].

Рассматривая пространственное распределение эпицентров землетрясений, проиллюстрированное на рис. 2, можно отметить, что особый интерес представляет группа эпицентров землетрясений **Северо-Западного района (№ 8)**. До 2008 г. этот район считался малоизученным, с умеренной сейсмичностью. По инструментальным наблюдениям за период с 1956–2007 гг. в региональных каталогах собраны данные всего о 39 событиях, наиболее сильное ( $K_{II}=11.8$ ) из которых произошло 03.03.1986 г. на границе с Черноморской впадиной [7]. На рис. 3 показано изменение высвобожденной сейсмической энергии в районе № 8 за 1986–2008 гг.

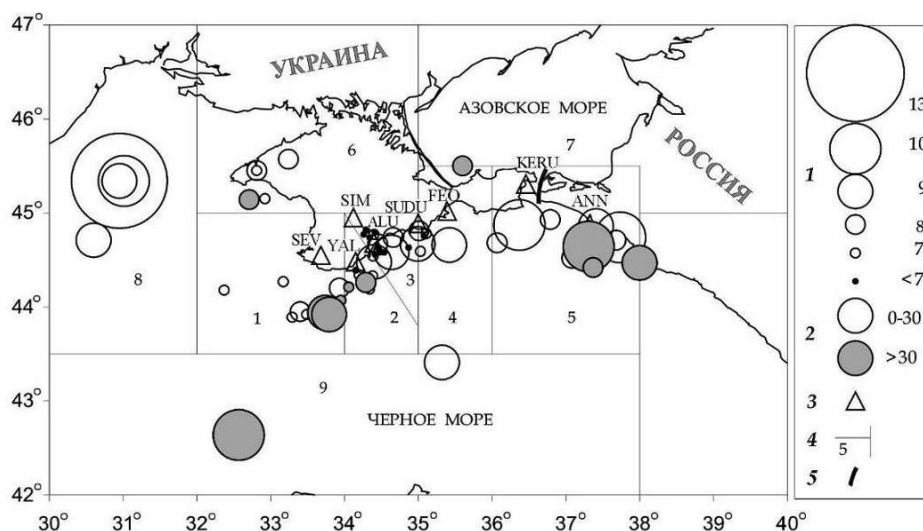


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Крыма в 2008 г.

1 – энергетический класс  $K_{II}$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района; 5 – государственная граница.

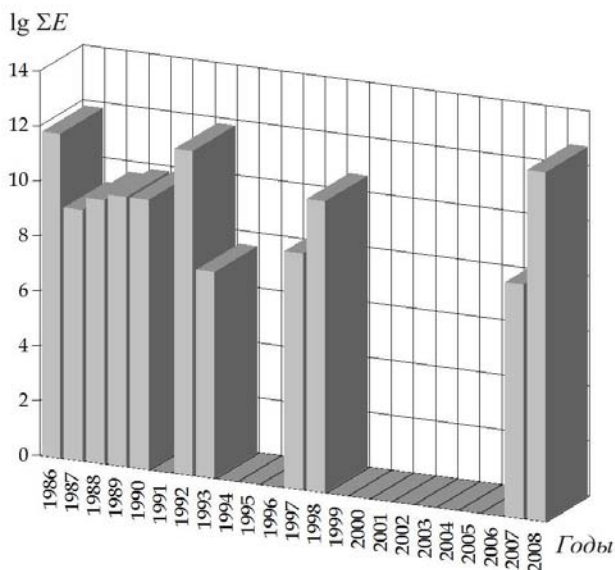


Рис. 3. Изменение во времени высвобожденной сейсмической энергии в районе № 8 за 1986–2008 гг.

$\varphi=45.34^{\circ}N$ ,  $\lambda=30.95^{\circ}E$ ;  $h=11$  км [4]. Энергетические оценки следующие:  $K_{II}=12.7$ ;  $MSH=4.3$ ;  $MLV=4.9$ ;  $MD=4.8$ ;  $Mc=5.1$ ,  $Mw=4.8$  [11]. Энергия землетрясения 7 мая, значительного для Крымско-Черноморского региона, составила 98.9 % от всей сейсмической энергии за год. Кроме записей Крымской сети станций, были интерпретированы волновые формы, полученные на других станциях Института геофизики НАНУ: «Полтава», «Сквира» и «Степановка» (ODE) в пос. Степановка, вблизи г. Одесса. Также в сводную обработку включены данные станций Карпатской сети Украины, Молдовы («Кишинёв»), России («Анапа»), Румынии и Турции [11]. Согласно [12], граница регистрации землетрясения 7 мая простирается до о. Таити (станция PPT), максимальное эпицентрально-расстояние составило  $\Delta=152.31^{\circ}$ .

Землетрясение 7 мая ощущалось на Украине, в Молдове, Румынии, Болгарии. Сотрудниками Отдела сейсмологии проведено обследование макросейсмических проявлений, землетрясения на юго-западе Украины. Интенсивность сотрясений составила в г. Измаил (165 км)  $I=4$  балла, в г. Одесса (128 км)  $I=3-4$  балла [4].

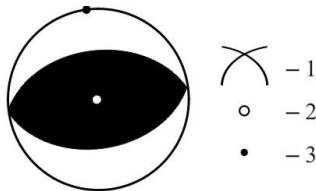
Из рис. 3 следует, что сейсмические проявления в Северо-Западном районе № 8 наблюдаются с большими интервалами затишья, поэтому главной особенностью сейсмического процесса 2008 г. явилась необычная активность, реализованная ощутимым (до 4 баллов) землетрясением 7 мая в 08<sup>h</sup>00<sup>m</sup> с  $K_{II}=12.7$  [4]. Его очаг располагался в Черном море вблизи о. Змеиный. Необходимо добавить, что лишь землетрясения серии 1992 г. [8] имеют координаты, близкие к очаговой зоне описываемого землетрясения. Этому событию посвящена отдельная статья [9], которая содержит подробную макросейсмическую информацию, параметры гипоцентра по данным различных сейсмологических агентств, динамические параметры и механизм очага.

Основные параметры землетрясения 7 мая по данным инструментальных наблюдений, рассчитанных по программе GIPO-08 [10], составили:  $t_0=08^h00^m$ ,

Основной толчок сопровождался тремя афтершоками. Самый сильный из них с энергетическим классом  $K_{II}=9.7$  зарегистрирован 4 июля 2008 г. в 16<sup>h</sup>40<sup>m</sup>, для сводной обработки его эпицентра привлекались записи станций «Одесса» (ODC), расположенной непосредственно в г. Одесса, «Степановка» (ODE), «Кишинёв», «Анапа», а также станций Румынии [11].

По данным международной сети станций для землетрясения 7 мая определен механизм очага по методу тензора момента центроида [12]. Самостоятельно, в рамках обобщения данных о сейсмичности за 2008 г. собраны и проанализированы первичные волновые формы землетрясения и определены знаки первых вступлений продольных волн. Это в совокупности со знаками первых вступлений из бюллетеня международного сейсмологического центра [12] позволило получить надежное решение механизма очага [6] по знакам первых вступлений *P*-волн (рис. 4), которое не противоречит таковому по методу тензора момента центроида [9].

Землетрясение произошло под действием горизонтальных ( $PL_p=0\div 7^\circ$ ) сил сжатия, ориентированных близмеридионально. Обе нодальные плоскости близширотного простирания. Подвижка по обеим плоскостям разрыва практически чистый взброс, с незначительным левосторонним сдвигом по *NP1* в  $AZM=81^\circ$  и правосторонним – по *NP2* в  $AZM=264^\circ$  [9]. Простирание нодальной плоскости *NP2* близко к направлению распространения разрыва в  $AZM=274^\circ$ , полученного из азимутального годографа времен запаздывания максимальных фаз продольных волн [13]. Вероятно, именно эта плоскость является главной, по которой произошла подвижка в очаге.



**Рис. 4.** Стереодиаграмма механизма очага землетрясения 7 мая 2008 г. с  $K_{II}=12.7$  [4],  $M_w=4.8$  [5] по знакам первых вступлений *P*-волн [6] (нижняя полусфера)

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

Суммарная сейсмическая энергия, высвободившаяся в очагах землетрясений региона в 2008 г., равна  $\Sigma E=5.068 \cdot 10^{12}$  Дж, что значительно (почти в 5 раз) превышает ее средний уровень за предшествующие 16 лет (табл. 4). Общее число ( $N_\Sigma=61$ ) землетрясений Крымско-Черноморского региона также больше среднего.

**Таблица 4.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_{II}$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  Крыма за 1992–2008 гг.

Год	$K_{II}$										$N_\Sigma$	$\Sigma E,$ $10^9 \cdot \text{Дж}$
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1992		3	15	15	17	14	6	4	2		76	1861.72
1993	1	5	11	9	6	6	2				40	21.109
1994	23	22	13	5	13	4					81	4.345
1995	4	4	12	13	9	2		1			45	42.326
1996		5	8	12	16	5	3				49	33.904
1997		1	7	8	5	5	5	1	2		31	904.407
1998		1	15	28	13	11	7	3	1		79	1310.927
1999		3	6	7	12	10	4	3			45	321.38
2000	3	2	13	8	6	4	2	1			39	66.109
2001	2	6	22	14	8	8	3	4			65	482.53
2002	1	7	9	10	4	6				1	38	10006.063
2003	1	11	16	11	15	5	2	1			62	46.293
2004		3	16	12	9	7	2	1			50	57.202
2005		1	7	7	7	3	2		1		28	519.131
2006	1	2	8	15	6	8	1	1			42	215.342
2007		2	7	16	11	7	4		1		48	682.751
Сумма	36	78	185	190	157	105	43	20	7	1	822	16575.541
Среднее	2.25	4.88	11.56	11.88	9.81	6.56	2.69	1.25	0.44	0.06	51.37	1035.971
2008		2	11	16	15	11	5			1	61	5067.696

Примечание. Данные за 1992–2007 г. приведены по [14].

Второй год подряд сейсмическая обстановка в регионе примечательна тем, что зафиксированы землетрясения в каждом из девяти районов региона. Распределение числа землетрясений по районам и энергетическим классам отражено в табл. 5. Рассмотрим более детально сейсмичность каждого района.

**Таблица 5.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_{II}$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по районам за 2008 г.

№	Район	$K_{II}$							$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$
		5	6	7	8	9	10	13		
1	Севастопольский			5	2	2			9	$3.362 \cdot 10^9$
2	Ялтинский	2		4	1	1			8	$4.312 \cdot 10^8$
3	Алуштинский		10	3	2	1			16	$1.684 \cdot 10^9$
4	Судакский		1	2	1	2			6	$2.838 \cdot 10^9$
5	Керченско-Анапский				5	2	3		10	$2.844 \cdot 10^{10}$
6	Степной Крым			2	3				5	$1.704 \cdot 10^8$
7	Азово-Кубанский				1				1	$7.943 \cdot 10^7$
8	Северо-Западный					2	1	1	4	$5.018 \cdot 10^{12}$
9	Черноморская впадина					1	1		2	$1.291 \cdot 10^{10}$
	Всего	2	11	16	15	11	5	1	61	$5.068 \cdot 10^{12}$

В 2008 г. возросло число землетрясений в **Севастопольском районе (№ 1)** с 4 [1] до 9, но энергия девяти землетрясений с  $K_{II}=7.0-9.2$ , равная  $\Sigma E=3.362 \cdot 10^9 Дж$ , почти на порядок ниже таковой в 2007 г. ( $\Sigma E=2.592 \cdot 10^{10} Дж$  [1]). Пять землетрясений, зарегистрированных в границах района, ниже уровня представительной ( $K_{min}=8$ ) регистрации. Два землетрясения максимального в этом районе класса  $K_{II}=9.2$  произошли одно за другим 7 февраля в  $14^h36^m$  и 8 февраля в  $03^h28^m$  при глубине  $h=41 км$  и  $h=45 км$  соответственно [4]. Наибольшая (39.3 %) часть эпицентров сконцентрирована в центре региона. Здесь близкое расположение станций к очаговым зонам позволяет регистрировать очень слабые землетрясения в динамическом диапазоне с  $K_{II}<7$  и обеспечивает на небольшой площади представительный уровень землетрясений с  $K_{min}=6$  и 7 (см. врезку на рис. 1).

В **Ялтинском районе (№ 2)** зарегистрировано восемь землетрясений с  $K_{II}=5.2-8.5$ . Число событий и их энергия, равная  $\Sigma E=0.431 \cdot 10^9 Дж$ , уменьшились по сравнению с соответствующими показателями в 2007 г. ( $N_{\Sigma}=10$ ,  $\Sigma E=5.30 \cdot 10^9 Дж$  [1]). Максимальное в районе землетрясение с  $K_{II}=8.5$  реализовалось 23 декабря в  $23^h49^m$  и имеет глубину  $h=19 км$  [4].

Максимальное ( $N_{\Sigma}=16$ ) число событий отмечено в **Алуштинском районе (№ 3)**, но только шесть из них представительного уровня. Выделившаяся энергия всех землетрясений в диапазоне  $K_{II}=5.5-9.2$  в 14 раз больше таковой в 2007 г. ( $\Sigma E=1.684 \cdot 10^9 Дж$  вместо  $\Sigma E=0.117 \cdot 10^9 Дж$ ,  $N_{\Sigma}=11$  [1]). Максимальное землетрясение с  $K_{II}=9.2$  произошло 30 апреля в  $03^h59^m$  при глубине  $h=22 км$  [4].

На два порядка возросла сейсмическая энергия землетрясений **Судакского района (№ 4)** в сравнении с энергией в 2007 г. ( $\Sigma E=2.838 \cdot 10^9 Дж$  вместо  $\Sigma E=0.053 \cdot 10^9 Дж$  [1]). Три из шести событий энергетически представительны –  $K_{min}=8$ . Повышение сейсмической активности района обеспечено реализацией двух землетрясений: 4 апреля в  $10^h39^m$  с  $K_{II}=9.3$ ,  $h=30 км$  и 29 октября в  $02^h46^m$  с  $K_{II}=8.8$ ,  $h=9 км$  [4].

Возможно, как следствие всплеска сейсмической деятельности в очаговой зоне на северо-западе Черного моря произошло ослабление активности на востоке региона – в **Керченско-Анапском районе (№ 5)**. Энергия локализованных здесь землетрясений, равная  $\Sigma E=28.441 \cdot 10^9 Дж$ , в 22 раза меньше энергии в 2007 г. ( $\Sigma E=637.285 \cdot 10^9 Дж$  [1]), однако при этом район № 5 остался одним из самых «результативных» в регионе. Макросейсмические проявления интенсивностью  $I=4$  балла наблюдались в Анапе при землетрясении энергетического класса  $K_{II}=9.2$  [15]. Этот толчок отмечен 4 ноября в  $17^h41^m$  с эпицентром на суше и сравнительно небольшой глубиной  $h=12 км$ . Землетрясение максимального класса  $K_{II}=10.1$  зарегистрировано 24 июля в  $14^h14^m$  при глубине  $h=25 км$  [4]. Три из десяти событий ниже уровня представительной регистрации ( $K_{min}=8-9$ ).

Как и в 2007 г., повышенная сейсмическая деятельность проявилась в крайне слабом сейсмоактивном районе **Степной Крым (№ 6)**. Здесь отмечено 5 землетрясений с  $K_{II}=6.8-7.8$ , все ниже уровня представительной регистрации ( $K_{min}=9$ ). Их энергия ( $\Sigma E=0.170 \cdot 10^9$  Дж) невелика, но все же выше, чем в 2007 г. ( $\Sigma E=0.031 \cdot 10^9$  Дж,  $N_{\Sigma}=3$  [1]).

Одно представительное землетрясение с  $K_{II}=7.9$  зарегистрировано в **Азово-Кубанском районе (№ 7)** 18 октября в 14<sup>h</sup>31<sup>m</sup> при глубине  $h=34$  км [4]. Его энергия  $\Sigma E=0.079 \cdot 10^9$  Дж – минимальная относительно других районов и на порядок ниже, чем энергия в 2007 г. ( $\Sigma E=0.882 \cdot 10^9$  Дж,  $N_{\Sigma}=2$  [1]).

Особенности активизации сейсмического процесса в **Северо-Западном районе (№ 8)** описаны выше. Остается добавить, что на территории этого района представительный класс  $K_{min}=9$ , поэтому возможны пропуски более слабых толчков. Энергетический диапазон зарегистрированных в 2008 г. землетрясений соответствует  $K_{II}=8.6-12.7$ , суммарная энергия –  $\Sigma E=5.018 \cdot 10^{12}$  Дж.

Сохранился уровень сейсмической активности в пределах **Черноморской впадины (район № 9)**: энергия двух землетрясений, равная  $\Sigma E=12.905 \cdot 10^9$  Дж, практически такая же, как суммарная энергия в 2007 г. ( $\Sigma E=12.829 \cdot 10^9$  Дж [1]). Лишь одно землетрясение с  $K_{II}=10.1$  представительно ( $K_{min}=9$ ). Оно реализовалось 9 августа в 01<sup>h</sup>53<sup>m</sup> при глубине  $h=35$  км [4].

#### Л и т е р а т у р а

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2008 г. ( $N=61$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
5. Пустовитенко Б.Г., Калинюк И.В., Мерзей Е.А., Поречнова Е.И., Сыкчина З.Н. Динамические параметры очагов землетрясений Крыма. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст сб.).
6. Пустовитенко А.А. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Крыма за 2008 г. ( $N=1$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. Свидлова В.А. Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 1986 г. // Сейсмологический бюллетень западной территориальной зоны единой системы сейсмических наблюдений СССР, 1986 г. – Киев: Наукова думка, 1989. – С. 4–38.
8. Свидлова В.А. Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 1992 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 1992 г. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, 1995. – С. 7–38.
9. 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). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
10. Кульчицкий В.Е. Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (GIPO-08) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, 2010. – С. 28–32.
11. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. (отв. сост.), Антонюк Г.П., Бухарина Л.И., Горячун Ю.Г., Курьянова И.В., Ткаченко А.И. Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 2008 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, 2010. – С. 51–88.

12. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2008.** – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
13. Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Капитанова С.А., Калинюк И.В. Очаговые параметры землетрясения 7 мая 2008 г. в районе о. Змеиный (западная часть шельфа Черного моря) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, 2010. – С. 20–27.
14. Свидлова В.А., Пасынков Г.Д., Пустовитенко А.А. Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 73–78.
15. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2008 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – URL: [ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2008/](ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2008/).