

КРЫМ

В.А. Свидлова, Г.Д. Пасынков

Институт сейсмологии и геодинамики
Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, seismosilver@mail.ru

Сеть сейсмических станций Крыма в 2009 г., ее аппаратное оснащение практически не изменились по сравнению с [1]. Сведения о них представлены в Приложении к наст. сб. на CD [2]. Прекращена, проводимая параллельно с цифровой, аналоговая регистрация на станциях «Симферополь» и «Алушта». Все станции – цифровые, работали в непрерывном режиме. Для обработки землетрясений из районов, приграничных с Северным Кавказом, использованы данные станции «Анапа» (Россия). Станционная и сводная обработка полученных цифровых сейсмических записей выполнялась по программному комплексу WSG [3].

Представленная в [2] сеть региональных сейсмических станций обеспечила представительную регистрацию землетрясений с $K_{\min}=9$ практически на всей территории Крымского региона, а для более слабых толчков на энергетическом уровне с $K_{\min}<7$ – только на ограниченном участке Крыма вблизи высокочувствительных сейсмических станций (см. врезку на рис. 1).

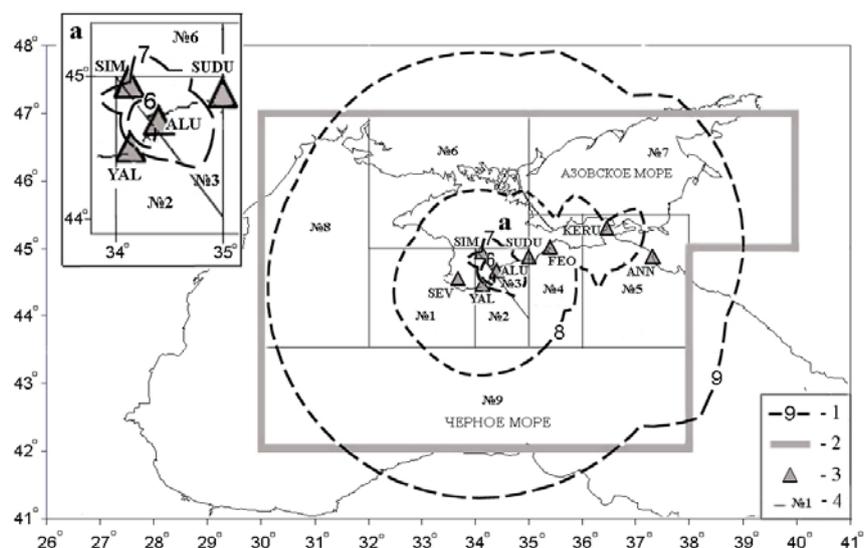


Рис. 1. Карта энергетической представительности землетрясений K_{\min} Крыма по данным цифровых сейсмических станций в 2009 г. из [4]

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.

В региональный каталог землетрясений Крыма за 2009 г. [5] включены основные параметры 161 землетрясения с энергетическими классами $K_{II}=4.6-11.2$. Пространственное расположение эпицентров зарегистрированных землетрясений дано на рис. 2. Ощутимым в шести населенных пунктах [6] было одно Симеизское землетрясение [7], произошедшее 12 апреля в 16^h31^m с $K_{II}=11.2$ [5], $M_w=4.25$ [8]. Для 13 событий получены спектральные и динамические параметры очагов [8] и для одного – решение механизма очага [9].

В 2009 г. в Крымском регионе отмечена относительно высокая активизация сейсмического процесса: число зарегистрированных землетрясений более чем в три раза больше среднегодового $N_{cp}=48$ за предшествующий двадцатилетний период наблюдений (рис. 3). Наиболее высокая плотность эпицентров относится к центральной части региона. Однако при значительно повышенном числе событий общая высвободившаяся энергия в очагах землетрясений состав-

вила всего $\Sigma E = 3.488 \cdot 10^{11}$ Дж, что в пять раз ниже среднего уровня $\Sigma E_{cp} = 17.526 \cdot 10^{11}$ Дж в регионе за период с 1990 г. (рис. 3).

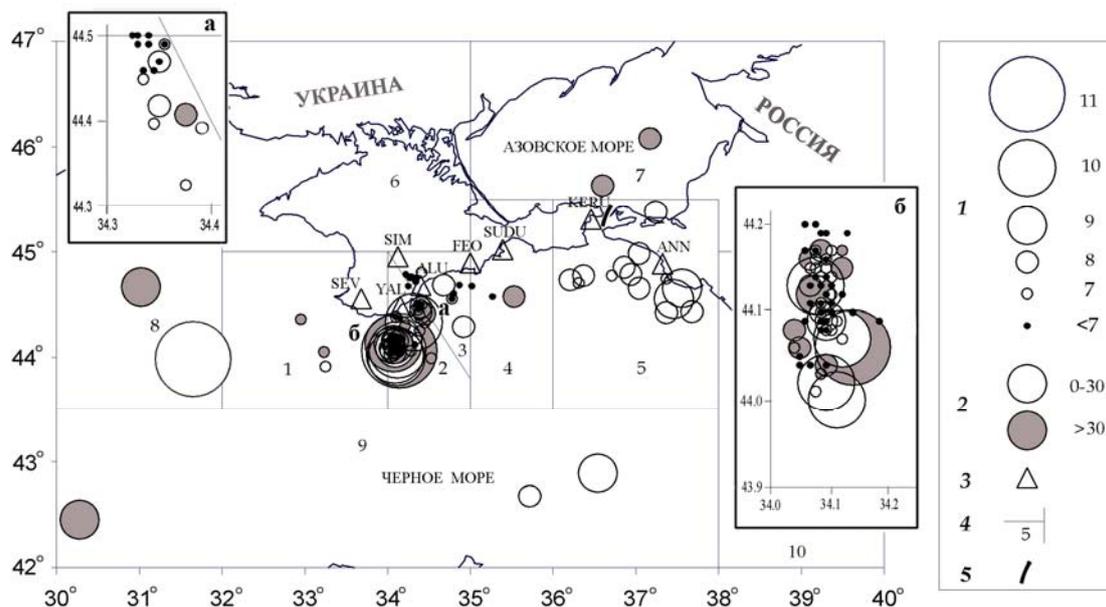


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Крыма в 2009 г.

1 – энергетический класс $K_{П}$ по [10, 11]; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района; на врезках а, б – прибрежная и юго-западная части района № 2 соответственно.

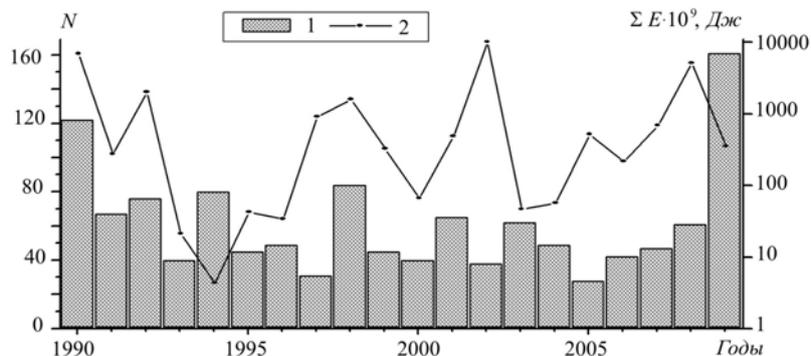


Рис. 3. График распределения землетрясений N (1) и выделившейся энергии ΣE (2) в регионе с 1990 по 2009 г.

Распределение землетрясений по районам и энергетическим классам, а также сейсмической энергии по районам представлено в табл. 1, где для сравнения приведены суммарные данные за 2008 г. из [1].

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам $K_{П}$ и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам за 2009 г.

№	Район	$K_{П}$								N_{Σ}	$\Sigma E, \text{ Дж}$
		5	6	7	8	9	10	11	13		
1	Севастопольский				3					3	$4.254 \cdot 10^7$
2	Ялтинский	13	52	33	12	2	5	1		118	$2.165 \cdot 10^{11}$
3	Алуштинский	4	7	3	2					16	$1.896 \cdot 10^8$
4	Судакский		1	1	1					3	$8.459 \cdot 10^7$
5	Керченско-Анапский			3	8	2				13	$2.224 \cdot 10^9$
6	Степной Крым									0	0
7	Азово-Кубанский				2					2	$3.512 \cdot 10^8$

№	Район	K_{II}								N_{Σ}	$\Sigma E, Дж$
		5	6	7	8	9	10	11	13		
8	Северо-Западный					2			1	3	$1.277 \cdot 10^{11}$
9	Черноморская впадина				1	2				3	$1.816 \cdot 10^9$
	Всего в 2009 г.	17	60	43	26	8	5	2		161	$3.488 \cdot 10^{11}$
	Всего в 2008 г.	2	11	16	15	11	5		1	61	$5.056 \cdot 10^{12}$

Из табл. 1 следует, что более 60% годовой сейсмической энергии выделилось в **Ялтинском районе (№ 2)**. Активизация в этом районе характеризуется примечательными сейсмическими событиями года: «роем» из 22 землетрясений, произошедших 3 марта с энергетическими классами $K_{II}=4.6-8.4$, и «апрельскими» событиями с $K_{II}=5.4-11.2$. В результате относительно показателей в 2008 г. число землетрясений возросло с 8 до 118 (почти в 15 раз), а суммарная энергия с $\Sigma E=4.312 \cdot 10^8 Дж$ [1] до $\Sigma E=2.165 \cdot 10^{11}$ (табл. 1), т.е. более чем в 500 раз.

Очаги роя 3 марта компактно сгруппированы на расстояниях $\Delta=16-20 км$ восточнее г. Ялты и имели среднюю для региона глубину $h=15-18 км$ (см. врезку а на рис. 1).

Апрельские события связаны с упомянутым выше Симеизским землетрясением 12 апреля [7] с его форшоками и афтершоками [5]. Активизация началась 10 апреля в юго-западной части Ялтинского района и продолжалась более 5 месяцев (до 16 августа). В этой очаговой зоне на глубине $h=30-45 км$ произошла серия землетрясений с эпицентрными расстояниями $\Delta=33-52 км$ от сейсмической станции «Ялта» [12]. Поле эпицентров этой группы очагов ориентировано меридионально и ограничено координатами: $\varphi=44.02-44.20^\circ N$ и $\lambda=34.03-34.14^\circ E$ (см. врезку б на рис. 1). Наиболее сильный толчок с энергетическим классом $K_{II}=11.2$ [5] и магнитудой $M_w=4.25$ [8] зафиксирован 12 апреля в $16^{h}31^m$. Землетрясение ощущалось в шести населенных пунктах побережья (см. табл. 2, рис. 4). Слабые сотрясения, как правило, были замечены жителями верхних этажей многоэтажных зданий. Общая оценка имеющихся данных позволяет сделать вывод, что землетрясение проявилось на Южном берегу Крыма (ЮБК) на грани ощутимости с интенсивностью $I=2-3$ балла и с максимальными воздействиями $I_{max}=3$ балла в пгт Симеиз ($\Delta=40 км$).

Таблица 2. Макросейсмические сведения о Симеизском землетрясении 12 апреля 2009 г. в $16^{h}31^m$ с $K_{II}=11.2, M_w=4.25$

№	Пункт	$\Delta, км$	φ°, N	λ°, E	AZM°	№	Пункт	$\Delta, км$	φ°, N	λ°, E	AZM°
	<u>3 балла</u>						<u>2 балла</u>				
1	Симеиз	40	44.41	34.00	164	3	Ялта	48	44.49	34.16	182
	<u>2-3 балла</u>					4	Алупка	41	44.44	34.04	169
2	Форос	47	44.39	33.78	142	5	Голубой Залив	42	44.42	33.99	163
						6	Кореиз	413	44.43	34.08	175

Примечание. AZM° – азимут на эпицентр.



Рис. 4. Схема расположения сотрясенных пунктов 12 апреля 2009 г.

Для всего Ялтинского района за 2009 г. на графике распределения числа землетрясений по глубине (рис. 5) имеется два максимума: $h=10-20$ км, что характерно для большинства сейсмических событий в Крыму, и $h=30-40$ км. Второй максимум связан в основном с глубиной очагов в апрельской серии. Землетрясения в отмеченной области происходят крайне редко: за весь период инструментальных наблюдений в каталогах имеются сведения лишь о 41 землетрясении из этой очаговой группы, из которых 31 имеют $h \geq 26$ км.

С изменением глубины очага землетрясения меняется величина отношения v_p/v_s скоростей продольной и поперечной волн. На графике $(v_p/v_s)=f(h)$ (рис. 6) заметна тенденция роста значений v_p/v_s с увеличением глубины землетрясений в Ялтинском районе: для интервала глубин $h=16-23$ км среднее значение $v_p/v_s=1.73 \pm 0.03$, а для $h=27-45$ м – 1.78 ± 0.02 . Наблюдаемый большой разброс значений отношения скоростей – следствие многих факторов, влияющих на точность определения моментов возникновения землетрясения и, соответственно, на вычисляемые значения v_p/v_s .

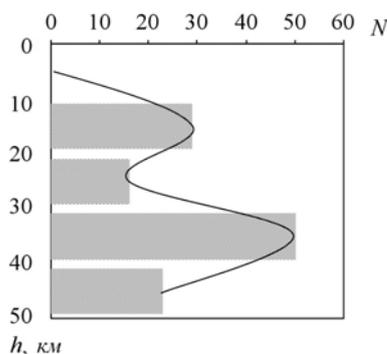


Рис. 5. Распределение землетрясений Ялтинского района по глубине в 2009 г.

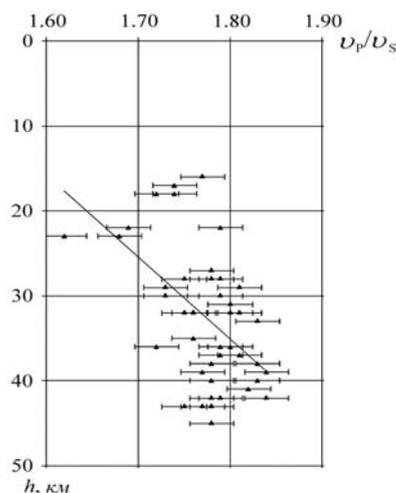


Рис. 6. График зависимости значений v_p/v_s от глубины h , км землетрясений Ялтинского района в 2009 г.

Ниже рассмотрены особенности сейсмичности в остальных восьми районах региона.

В **Севастопольском районе (№ 1)** отмечено только три слабых землетрясения с близкой энергией: 23 июня в $10^{\text{h}}24^{\text{m}}$, 4 октября в $23^{\text{h}}05^{\text{m}}$ и 28 ноября в $19^{\text{h}}14^{\text{m}}$ с $K_{\text{П}}=7.1, 7.3$ и 7.0 соответственно [5], тогда как в 2008 г. число землетрясений было в три раза больше [1]. Суммарная сейсмическая энергия снизилась еще в большей степени (в 79 раз).

Снизилась сейсмическая активность в **Алуштинском (№ 3)** и **Судакском (№ 4) районах**. Суммарная сейсмическая энергия 16 землетрясений в районе № 3 с $K_{\text{max}}=8.0$ и трех событий в районе № 4 с $K_{\text{max}}=7.9$ оказалась на порядок меньше соответствующих годовых значений энергии в 2008 г. [1]. Слабые землетрясения с $K_{\text{П}}=5.7-6.5$ зарегистрированы на суше, в 6–18 км северо-западнее станции «Алушта» [12].

Также наблюдается значительное увеличение сейсмической активности в восточной части региона: в **Керченско-Анапском районе (№ 5)** число землетрясений возросло с 10 до 13, и в **Черноморской впадине (район № 9)** – с 2 до 3, хотя по уровню энергии наблюдается снижение. В Керченско-Анапском районе высвобожденная в очагах энергия 13 землетрясений с $K_{\text{П}}=6.9-9.1$, равная $\Sigma E=2.224 \cdot 10^9$ Дж, более чем на порядок меньше таковой в 2008 г. ($\Sigma E=28.441 \cdot 10^9$ Дж [1]). Максимальное ($K_{\text{П}}=9.1$) в районе № 9 землетрясение реализовалось 23 марта в $02^{\text{h}}46^{\text{m}}$ и имеет глубину $h=25$ км [5]. Энергия трех землетрясений Черноморской впадины с $K_{\text{П}}=8.2-9.1$ почти в 7 раз меньше таковой в 2008 г. ($\Sigma E=12.905 \cdot 10^9$ Дж [1]). Максимальное значение $K_{\text{П}}=9.1$ в Черноморской впадине имело землетрясение, зарегистрированное 26 июня в $01^{\text{h}}34^{\text{m}}$, глубина которого $h=35$ км [5]. Не характерно отсутствие землетрясений с $K_{\text{П}} \geq 9.1$ одновременно в обоих этих районах. Чаще наблюдается противофазный характер выделения энергии в районе № 5 по отношению к району № 9 [14].

В **Степном Крыму (№ 6)**, который всегда малоактивен, в 2009 г. наблюдалось полное затишье. В **Азово-Кубанском районе (№ 7)** зарегистрировано два незначительных земле-

трясения – 7 июля в 13^h26^m с $K_{II}=8.4$ и 24 сентября в 07^h19^m с $K_{II}=8.0$ [5] – с суммарной энергией $\Sigma E=3.5 \cdot 10^8$ Дж, тогда как в 2008 г. было лишь одно с $K_{II}=7.9$ [15].

Продолжалась афтершоковая деятельность в очаговой зоне сильного землетрясения 07.05.2008 г. вблизи о. Змеиный [16]. Здесь реализованы три толчка с энергетическими классами $K_{II}=8.7, 9.1$ и 11.1 , которые определили сравнительно высокий уровень выделившейся энергии в **Северо-Западном районе (№ 8)**, что составило 36% от всей энергии региона. Землетрясение с $K_{II}=11.1$ произошло 18 февраля в 09^h44^m и имеет глубину $h=16$ км [5].

Л и т е р а т у р а

1. **Свидлова В.А., Пустовитенко А.А., Пасынков Г.Д.** Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 67–73.
2. **Свидлова В.А. (отв. сост.).** Сейсмические станции Крыма в 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
3. **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.
4. **Свидлова В.А., Сыччина 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.
5. **Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыччина З.Н. (отв. сост.).** Каталог землетрясений Крыма за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. **Свидлова В.А., Пойгина С.Г. (сост.).** Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Крыма в 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. **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). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
8. **Пустовитенко Б.Г., Калинюк И.В., Мержей Е.А., Пустовитенко А.А.** Очаговые параметры землетрясений Крыма. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст. сб.).
9. **Пустовитенко А.А. (отв. сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Крыма за 2009 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 Единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым–Карпаты за 1978–1979 гг.). – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 126–138.
12. **Свидлова В.А., Сыччина З.Н., Козиненко Н.М., Антонюк Г.П., Бухарина Л.А., Антонюк В.А., Курьянова И.В., Росляков А.В.** Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 2009 год // Сейсмологический бюллетень Украины за 2009 г. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, 2011. – С. 68–141.
13. **Медведев С.В.(Москва), Шпонхойер В.(Иена), Карник В.(Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
14. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Пустовитенко А.А., Михайлова Р.С.** Крым // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск; ГС РАН, 2007. – С. 64–73.
15. **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.
16. **Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыччина З.Н. (отв. сост.).** Каталог землетрясений Крыма за 2008 г. ($N=61$) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – (На CD).