

## КРЫМ

*А.Н. Пустовитенко, В.А. Свидлова, Е.И. Поречнова, З.Н. Сыкчина*

*Отдел сейсмологии Института геофизики НАН Украины, г. Симферополь, silver@mail.strace.net*

В 2000 г. в Крымской сети работали семь стационарных сейсмических станций и один выносной пункт наблюдений «Донузлав» (табл. 1).

**Таблица 1.** Сейсмические станции Крыма (в хронологии их открытия), работавшие в 2000 г.

№	Станция			Дата открытия	Координаты			Принадлежность
	Название	Код			φ°, N	λ°, E	h <sub>y</sub> , м	
		межд.	рег.					
1	Феодосия	FEO	Фдс	11.10.1927	45.02	35.39	40	Отдел сейсмологии ИГ НАН Украины
2	Ялта	YAL	Ялт	13.03.1928	44.48	34.15	23.6	
3	Симферополь	SIM	Смф	14.05.1928	44.95	34.12	275	–"–
4	Севастополь	SEV	Свс	28.06.1928	44.54	33.68	42	–"–
5	Алушта	ALU	Алш	03.10.1951	44.68	34.40	61	–"–
6	Судак	SDK	Суд	18.10.1988	44.89	35.00	108	–"–
7	Керчь	KRCH	Крч	19.05.1997	45.31	36.46	50	–"–
8	Донузлав	DON	Днз	20.04.1998	45.45	33.10	80	Крымский экспертный совет

Параметры основных типов аппаратуры представлены в табл. 2.

В апреле 2000 г. на сейсмической станции «Керчь» была произведена очередная реконструкция регистрирующей аппаратуры. Были сняты с регистрации маломощные сейсмоприемники ВЭГИК и вместо них установлены универсальные сейсмоприемники Н.Е. Федосеенко (УСФ) с более мощными магнитными системами. Это позволило перейти на регистрацию более надежными гальванометрами ГБ-III на составляющих (N, Z), а составляющую (E) и автомат управления записью (АУЗ) подключить к гальванометру ГК-VII. В результате на этой станции заметно улучшилось качество регистрации. В перспективе после соответствующей подготовки возможен переход на регистрацию гальванометрами ГК-VII по всем трем составляющим.

В конце 1999 г. Крымским экспертным советом при Правительстве Крыма были заказаны в ГС РАН два комплекта цифровых сейсмических станций. В конце мая 2000 г. обе станции были получены и переданы в эксплуатацию отделу сейсмологии. После проведения ряда подготовительных мероприятий одна цифровая станция в конце июня была установлена на сейсмической станции «Симферополь», а вторая – в начале июля на станции «Ялта». Станция «Симферополь» была выбрана по той причине, что это центральная станция с круглосуточным дежурством по наблюдению за землетрясениями и подачи срочных донесений. Станция «Ялта» была выбрана по расположению в самом сейсмоактивном районе и где оказалось легче организовать охранные мероприятия и круглосуточное дежурство.

Из-за недостатка средств цифровые станции были приобретены без комплекта сейсмоприемников. По этой причине на станции «Симферополь» была остановлена регистрация канала СД-1, работавшего на длиннопериодных сейсмоприемниках СКД с  $T_s=25$  с с высокоомными катушками. Эти сейсмоприемники были подключены к широкополосным каналам ВН цифровой станции. Короткопериодные каналы ЕН цифровой станции были подключены к сейсмоприемникам СМ-3 с собственными периодами  $T_s=1.5$  с. На станции «Ялта» были подключены, соответственно, сейсмоприемники СК с  $T_s=12$  с и ВЭГИК с  $T_s=1.0$  с. Калибровка каналов была осуществлена генераторным методом, описанным в [1, 2]. При этом качество амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) определялось сравнением результатов замеров амплитуд и периодов, полученных по цифровой станции и по стандартным аналоговым каналам СХ и СКД, которые продолжали функционировать параллельно с цифровой станцией.

**Таблица 2.** Параметры сейсмографов основных каналов регистрации на сейсмических станциях Крыма в 2000 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	N, E	1.00	0.70	0.36	3.00	0.225	16000	0.2–0.8	60	
			Z	1.00	0.70	0.36	4.20	0.12	10000	0.2–0.8	60	
		СХ, КПЧ	N	0.92	0.52	0.093	11.6	$3.3 \cdot 10^{-3}$	500	0.05–0.8	360	
			E	0.92	0.52	0.097	11.1	$3.2 \cdot 10^{-3}$	500	0.05–0.8	360	
			Z	0.97	0.60	0.096	14.5	$3.5 \cdot 10^{-3}$	500	0.05–0.8	360	
		СКД СКД, КПЧ	N, E, Z	25.00	0.50	1.20	8.00	0.25	1000	0.2–20.0	30	
			N	22.40	0.45	1.40	6.90	$1.29 \cdot 10^{-4}$	50	0.2–18.0	30	
			E	22.40	0.45	1.30	7.40	$2.68 \cdot 10^{-4}$	50	0.2–18.0	30	
		СД-1 (до 01.07.2000г.)	N, E	Z	22.40	0.45	1.14	8.40	$2.19 \cdot 10^{-4}$	50	0.2–18.0	30
				N, E	25.00	1.00	100.0	0.50	0.16	700	16–55	15
Z	25.00	1.00	80	0.50	0.19	1000	16–55	15				
2	Севастополь	СКМ-3	N	1.00	0.70	0.20	1.70	0.200	20000	0.1–0.7	60	
			E	1.00	0.70	0.20	1.70	0.175	20000	0.1–0.7	60	
			Z	1.00	0.70	0.20	1.70	0.230	20000	0.1–0.7	60	
		СКМ-3, КПЧ	N	0.89	0.57	0.20	3.50	$1.2 \cdot 10^{-3}$	1000	0.1–0.7	60	
			E	0.89	0.57	0.20	3.50	$1.1 \cdot 10^{-3}$	1000	0.1–0.7	60	
			Z	0.87	0.54	0.20	3.70	$1.4 \cdot 10^{-3}$	1000	0.1–0.7	60	
			N, E, Z	0.75	0.70	0.29	2.00	0.19	20000	0.2–0.6	60	
3	Ялта	СХ	N	0.67	0.55	0.20	2.60	$7.9 \cdot 10^{-3}$	1000	0.1–0.6	60	
			E	0.67	0.55	0.13	4.50	$3.0 \cdot 10^{-2}$	1000	0.1–0.6	60	
		СХ, КПЧ	Z	0.67	0.55	0.21	2.80	$9.0 \cdot 10^{-3}$	1000	0.1–0.6	60	
			N	0.76	0.74	0.22	1.74	0.246	20000	0.2–0.5	60	
4	Алушта	СГКМ-СХ	E	0.76	0.74	0.22	1.74	0.035	20000	0.2–0.5	60	
			Z	0.73	0.74	0.22	1.74	0.122	20000	0.2–0.5	60	
		СХ-КПЧ	N	0.61	0.57	0.19	2.00	$9.3 \cdot 10^{-4}$	1000	0.1–0.5	120	
			E	0.72	0.72	0.19	2.00	$4.2 \cdot 10^{-4}$	2000	0.2–0.4	120	
			Z	0.59	0.56	0.22	1.80	$4.2 \cdot 10^{-4}$	1000	0.2–0.5	120	
			N	1.00	0.70	0.28	1.80	$1.6 \cdot 10^{-2}$	20000	0.19–0.55	60	
5	Судак	СКМ-3	E, Z	1.00	0.7	0.27	1.80	$1.8 \cdot 10^{-2}$	20000	0.15–0.55	60	
			N	0.98	0.67	0.093	5.3	$6.6 \cdot 10^{-4}$	1000	0.15–0.6	360	
		СКМ-3, КПЧ	E	0.92	0.67	0.090	5.4	$7.5 \cdot 10^{-4}$	1000	0.15–0.6	360	
			Z	0.92	0.67	0.095	5.1	$7.5 \cdot 10^{-4}$	1000	0.15–0.6	360	
			N, E	1.00	0.70	0.40	3.60	0.040	10000	0.1–0.7	60	
6	Феодосия	СКМ-3	Z	1.00	0.7	0.4	3.60	0.020	10000	0.1–0.7	60	
			N	0.65	0.40	0.10	3.00	0.12	12000	0.1–0.6	60	
7	Керчь	ВЭГИК (до апр. 2000 г.)	E	0.65	0.40	0.10	3.00	0.11	11000	0.1–0.5	60	
			Z	0.64	0.40	0.10	3.00	0.10	5600	0.1–0.6	60	
			N	0.60	0.60	0.213	2.00	0.0188	10500	0.1–0.45	60	
		УСФ (с апр. 2000 г.)	E	0.60	0.60	0.208	2.00	0.0191	10500	0.1–0.45	60	
			Z	0.60	0.60	0.227	2.00	0.0055	5150	0.1–0.5	60	
			N	1.00		0.200			10000*	0.1–0.8	60	
8	Донузлав	ВЭГИК	Z	1.00		0.20			10000	0.1–0.8	60	

Примечание. Знаком \* отмечен электронный канал.

Стандартный метод калибровки позволил получить почти приемлемую характеристику лишь длиннопериодных каналов, но амплитудно-частотная характеристика короткопериодных каналов оказалась совершенно неприемлемой. Расхождение в результатах по короткопериодным ЕН каналам составляло несколько порядков по амплитудам и несколько единиц по магнитудам. По разным причинам задачу калибровки каналов цифровых станций удалось решить только через год после начала регистрации. Весь 2000 год каналы цифровых станций «Симфе-

рополь» и «Ялта» работали без амплитудно-частотных характеристик, что, естественно, снижало качество наблюдений. Вместе с тем с появлением современной аппаратуры возрос интерес сотрудников отдела сейсмологии к освоению компьютерной техники. Однако добавились и трудности с подготовкой старых сейсмоприемников к регистрации на ином уровне, с обеспечением аккумуляторным питанием и технологическим оборудованием. Пока еще не все проблемы решены, и поэтому цифровая регистрация велась параллельно с основной гальванометрической как в Симферополе, так и в Ялте.

В 2000 г. сейсмическими станциями Крыма зарегистрировано 46 землетрясений с  $K_{\Pi}=3.5-10.6$ , из которых 39 были локализованы [3]. Карта их эпицентров представлена на рис. 1. Ощутимым было лишь одно землетрясение, произошедшее 6 апреля в  $13^{h}55^{m}$  с  $K_{\Pi}=10.6$  в Керченско-Анапском районе (№ 5). Оно вызвало сотрясения интенсивностью  $I=4-5$  баллов в Новороссийске (36 км) и 2 балла в Анапе (70 км) [3].

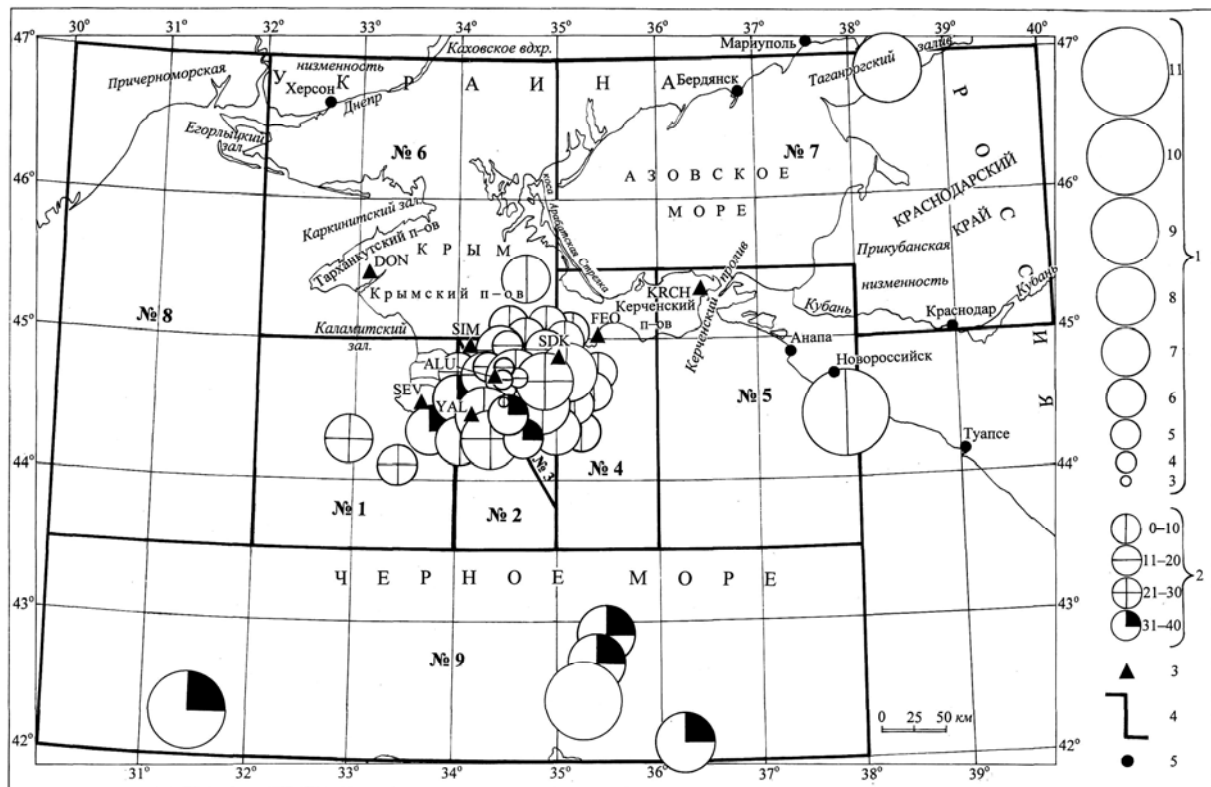


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Крымского региона за 2000 г.

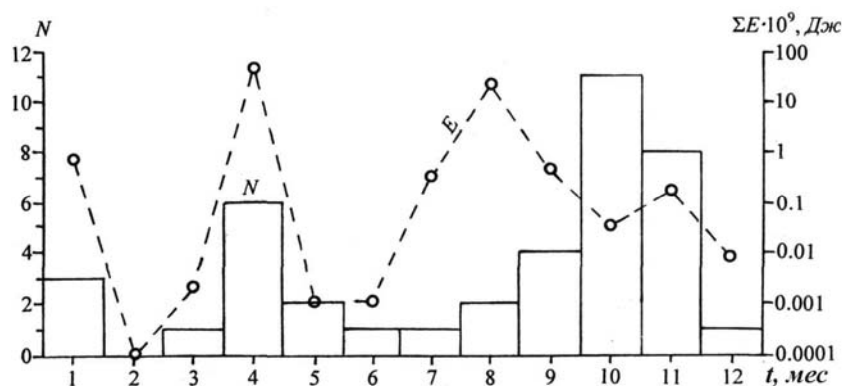
1 – энергетический класс; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района, 5 – город.

Распределение числа землетрясений по энергетическим классам и суммарной выделившейся энергии по районам представлено в табл. 3. Поскольку критерием выделившейся энергии при отдельном событии является энергетический класс  $K_{\Pi}=\lg E$ , удобно использовать значения логарифма суммы выделившейся энергии в отдельных районах и в целом по всему региону. В этом случае полученная величина является обобщенным энергетическим классом исследуемого региона. Таким образом, суммарная энергия, выделившаяся в 2000 г. в целом по региону, эквивалентна энергии одного землетрясения энергетического класса  $K_{\Pi}=10.8$ . Представленные в табл. 3 значения энергетического класса являются величинами округленными. Сам же  $\lg \Sigma E$  рассчитывался с точностью до 0.1 по значениям классов, помещенных в каталоге. Исходя из табл. 3, можно сделать вывод, что по величине суммарной энергии наиболее активными районами в 2000 г. явились Керченско-Анапский (№ 5) и Черноморская впадина (№ 9). Сейсмичность остальных районов в сравнении с ними незначительна. Но по числу зарегистрированных землетрясений наиболее активными были по-прежнему районы Ялтинский (№ 2) и Алуштинский (№ 3), в которых локализовано 28 землетрясений из 39, т.е. 70% от общего числа.

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

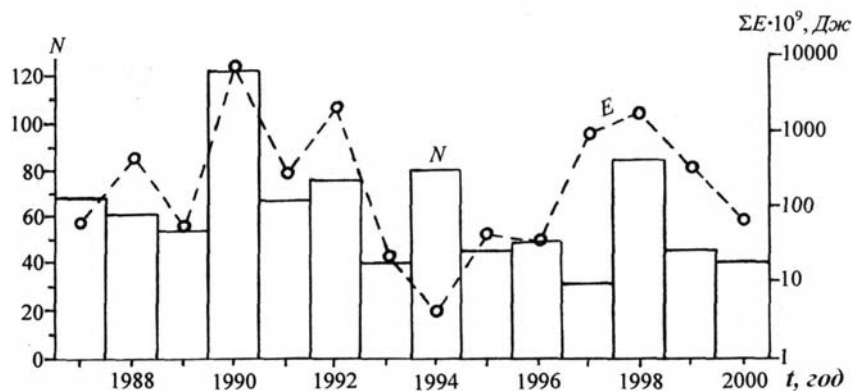
№	Район	$K_{\Pi}$								$N_{\Sigma}$	$\Sigma E \cdot 10^9$ , Дж	$\lg \Sigma E$
		4	5	6	7	8	9	10	11			
1	Севастопольский	–	–	1	1	–	–	–	–	2	0.018	7.26
2	Ялтинский	–	1	3	4	2	–	–	–	10	0.684	8.84
3	Алуштинский	3	1	8	2	3	–	–	–	17	0.437	8.64
4	Судакский	–	–	–	1	1	–	–	–	2	0.146	8.16
5	Керченско-Анапский	–	–	–	–	–	–	–	1	1	39.811	10.60
6	Степной Крым	–	–	–	1	–	–	–	–	1	0.008	6.90
7	Азово-Кубанский	–	–	–	–	–	1	–	–	1	0.398	8.60
8	Северо-Западный	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
9	Черноморская впадина	–	–	–	–	3	–	2	–	5	24.608	9.39
	Всего	3	2	13	8	6	4	2	1	39	66.109	10.82

Рассматривая ход сейсмического процесса в течение года в целом (рис. 2), можно отметить следующее: до октября 2000 г. зарегистрировано необычно низкое число землетрясений и по всему региону, и по отдельным районам (кроме района № 9). Лишь во второй половине октября отмечено оживление: появилась серия очень слабых землетрясений в Алуштинском районе, а в первой декаде ноября – в Ялтинском. Особенностью этого года является отсутствие слабых землетрясений в Керченско-Анапском районе. Также как и в 1999 г. [4], отмечены землетрясения в Степном Крыму, Судакском и Азово-Кубанском районах (табл. 3, рис. 1), где они наблюдаются крайне редко.



**Рис. 2.** Распределение числа землетрясений ( $N$ ) и выделившейся энергии ( $E$ ) за 2000 г.

В целом по региону после промежуточного пика сейсмической активности в 1998 г. [5] продолжается наметившийся в 1999 г. спад сейсмической активности [4]: суммарная выделившаяся энергия в 2000 г. в 4.1 раза меньше таковой в 1999 г. (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение числа землетрясений ( $N$ ) и суммарной выделившейся энергии ( $E$ ) по годам за 14 лет, с 1987 г. по 2000 г.

График изменения выделившейся энергии по районам №№ 1–5 и 9 за 1987–2000 гг. представлен на рис. 4. Особенности графиков до 2000 г. подробно описаны в [4]. Отметим только, что в 2000 г. подтверждается общая закономерность о противофазном характере выделения энергии в районах № 5 и № 9.

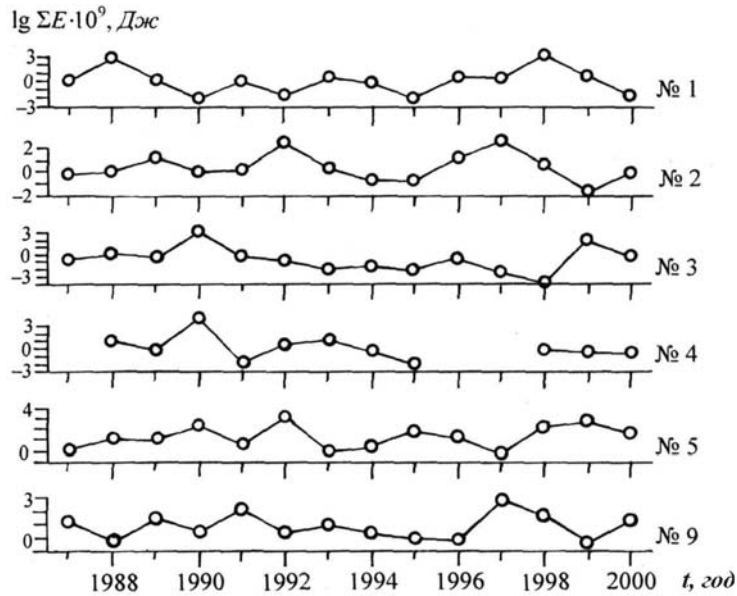


Рис. 4. Графики выделения сейсмической энергии по отдельным районам за 1987–2000 гг.

В 2000 г. было рассчитано пять амплитудных и энергетических спектров для трех землетрясений Крымско-Черноморского региона с  $K_{II}=9.6-10.6$  в диапазоне эпицентральных расстояний  $\Delta=267-404$  км. Амплитудные спектры и прямые их аппроксимации представлены на рис. 5.

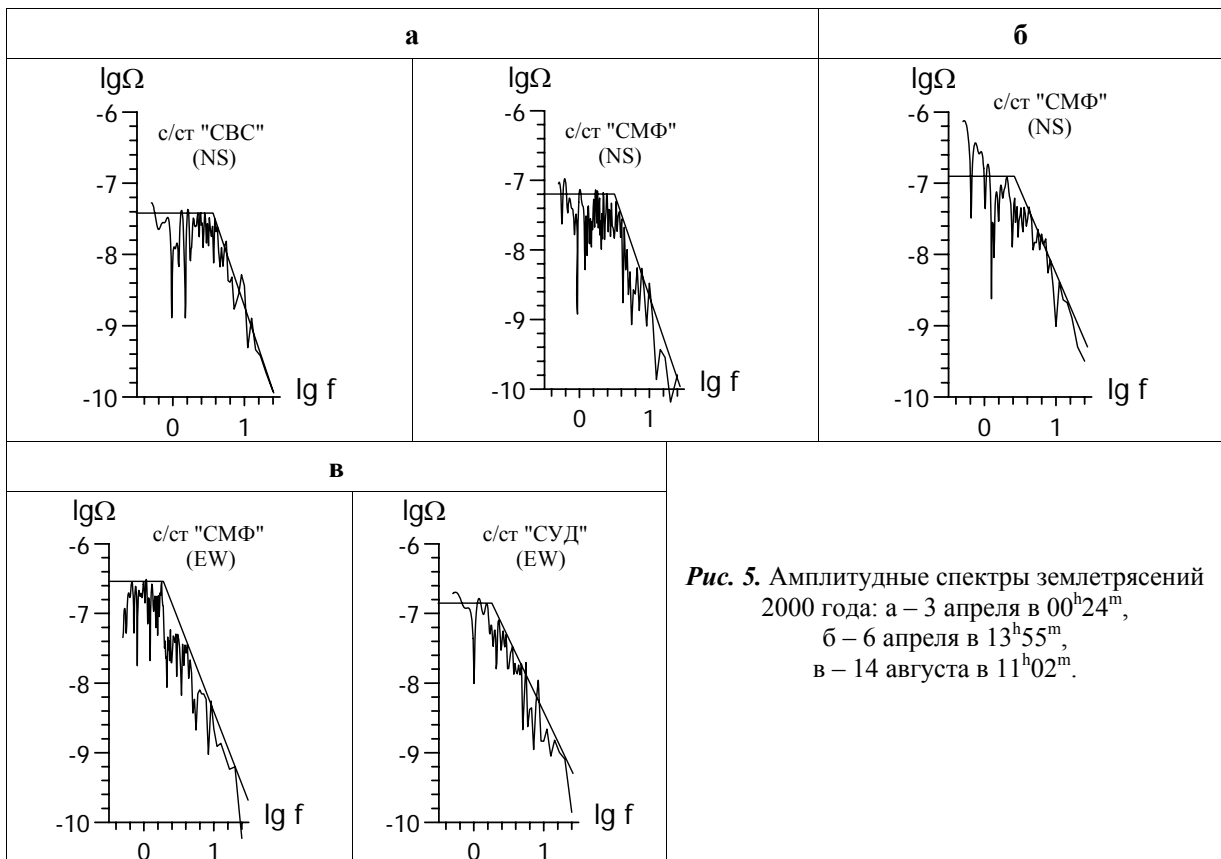


Рис. 5. Амплитудные спектры землетрясений 2000 года: а – 3 апреля в 00<sup>h</sup>24<sup>m</sup>, б – 6 апреля в 13<sup>h</sup>55<sup>m</sup>, в – 14 августа в 11<sup>h</sup>02<sup>m</sup>.

Очаговые параметры землетрясений получены по амплитудным спектрам поперечных волн землетрясений, зарегистрированных короткопериодной аппаратурой сейсмических станций Крыма «Симферополь», «Судак», «Севастополь» (рис. 5). Скорость развертки записей землетрясений составляла 60 мм/мин для сейсмографов СХ и СКМ. Спектры достаточно хорошо удовлетворяют модели Брюна [6, 7], что позволяет уверенно выделить спектральные параметры очага: угловую частоту  $f_0$  и спектральную плотность  $\Omega_0$ . Рассчитаны очаговые параметры: сейсмический момент  $M_0$ , радиус круговой дислокации  $r_0$ , сброшенное напряжение  $\Delta\sigma$ , деформация сдвига  $\varepsilon$  и средняя подвижка по разрыву  $\bar{u}$  (табл. 4). Моментные магнитуды  $M_w$  рассчитаны по стационарным и по средним значениям сейсмического момента  $M_0$ . Здесь же приведены средние значения динамических параметров  $S$  и средние скорректированные значения  $S_k$  [8].

**Таблица 4.** Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма за 2000 г.

Станция	Сост.	$\Delta$ , км	$\Omega_0 \cdot 10^{-6}$ , мс	$f_0$ , Гц	$M_0 \cdot 10^{13}$ , Н·м	$M_w$	$r_0$ , км	$\Delta\sigma \cdot 10^5$ , Па	$\varepsilon \cdot 10^{-6}$	$\bar{u} \cdot 10^{-2}$ , м
Землетрясение 3 апреля: $t_0=00^h24^m26.8^s$ , $\varphi=42.43^\circ$ , $\lambda=35.26^\circ$ , $h=0$ км, $K_{II}=9.6$										
Севастополь	N	267	0.037	3.7	1.49	2.7	0.29	2.82	9.40	0.19
Симферополь	N	295	0.063	3.1	2.80	2.9	0.34	3.21	10.71	0.26
$S$					2.04	2.8	0.31	3.01	10.03	0.23
$S_k$					2.47	2.9	0.32	3.28	10.93	0.25
Землетрясение 6 апреля: $t_0=13^h55^m29.3^s$ , $\varphi=44.44^\circ$ , $\lambda=37.89^\circ$ , $h=16$ км, $K_{II}=10.6$										
Симферополь	N	300	0.123	2.7	10.34	3.3	0.46	4.53	15.09	0.51
$S_k$					4.62	3.1	0.34	5.19	17.30	0.43
Землетрясение 14 августа: $t_0=11^h02^m05.1^s$ , $\varphi=42.31^\circ$ , $\lambda=31.45^\circ$ , $h=33$ км, $K_{II}=10.3$										
Симферополь	E	363	0.283	1.8	36.48	3.7	0.75	3.80	12.68	0.69
Судак	E	404	0.141	1.8	20.25	3.5	0.75	2.11	7.04	0.38
$S$					27.8	3.6	0.75	2.83	9.44	0.51
$S_k$					18.16	3.5	0.61	3.46	11.52	0.51

### Л и т е р а т у р а

1. Гостев М.А. Электродинамическая градуировка сейсмографов с записью на сейсмограмму // Экспериментальная сейсмика (Тр. ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 26–33.
2. Аранович З.И., Аронов Л.Е., Архангельский В.Т., Москвина А.Г., Павлов В.Д., Токмаков В.А., Фремд В.М., Харин Д.А., Шебакин Н.В. Методика и техника наблюдений на сейсмических станциях // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР – М.: Наука, 1974. – С. 174–177.
3. Свидлова В.А. (отв. сост.). Крым. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
4. Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Пустовитенко А.А., Поречнова Е.И., Сыкчина З.Н. Крым // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 52–59.
5. Пустовитенко А.Н., Пустовитенко Б.Г., Поречнова Е.И., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. Крым // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ГС РАН, 2004. – С. 36–44.
6. Brune J.N. Tectonic stress and the spectrum of seismic shear waves from earthquake // J. Geophys. Res. – 1970. – 75. – № 26. – P. 4997–5009.
7. Brune J.N. Corrections // J. Geophys. Res. – 1970. – 75. – № 26. – P. 4997–5009.
8. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. – Киев: Наукова думка, 1990. – 249 с.