

## ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА

Б.Г. Пустовитенко, Е.И. Поречнова, З.Н. Сыкчина

Отдел сейсмологии Института геофизики НАН Украины, г. Симферополь, [silver@mail.strace.net](mailto:silver@mail.strace.net)

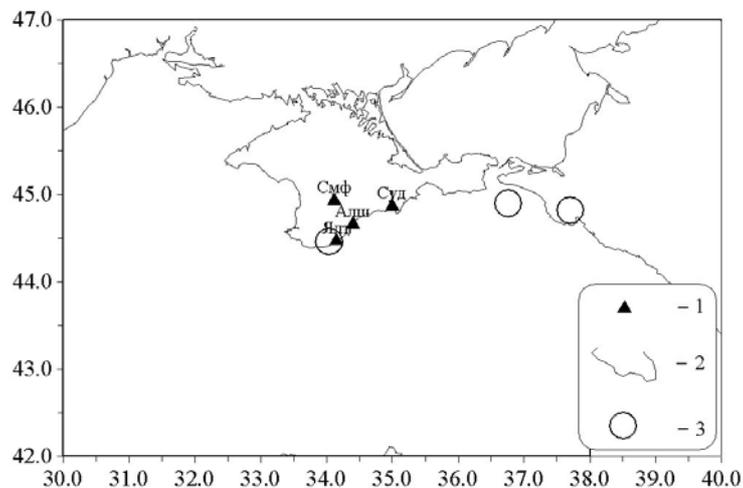
Определение динамических параметров очагов слабых местных землетрясений Крыма стало массовым с 1981 г. [1, 2] благодаря внедрению в практику экспресс-метода расчета спектров землетрясений. В 2002 г. сейсмическая активность Крымского региона была невысокой [3], большинство записей получено на неудобной для оцифровки скорости развертки записи, поэтому спектры удалось построить только для трех землетрясений с  $K_{II}=8.9-13.0$  (табл. 1) в диапазоне эпицентральных расстояний 89–283 км.

**Таблица 1.** Список землетрясений, для которых рассчитаны спектры в 2002 г.

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	Магнитуды				$K_{II}$	Район
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		$M_s$	$M_w$	$\#M_s$	$\wedge MPSP$ $\#m_b$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	24.06	17 37 45.8	44.46	34.04	14	2.5	3.2			8.9	Ялтинский (№ 2)
2	09.11	02 18 15.0	44.82	37.70	29	5.1	5.5		$\wedge 5.2$	13.0	Керченско-Анапский (№ 5)
3	21.12	00 42 12.4	44.90	36.76	21		3.0	$\#4.8$	$\#5.0$ $\wedge 4.1$	9.0	Керченско-Анапский (№5)

Примечание. Параметры землетрясений в графах 2–8, 11, 12 соответствуют таковым в [3]; магнитуды  $\wedge MPSP$  взяты из [4],  $\#M_s$  и  $\#m_b$  из [5, HRVD].

Очаговые параметры землетрясений получены по амплитудным спектрам  $S$ -волн землетрясений, зарегистрированных региональными сейсмическими станциями Крыма «Симферополь», «Судак», «Алушта» и «Ялта». Пригодная для оцифровки запись ощутимого землетрясения 9 ноября 2002 г. получена только на заглубленных каналах С-5-С сейсмической станции «Судак» и на канале СД-1 в Симферополе со скоростью развертки записи 472 мм/мин и 15 мм/мин соответственно (табл. 2). Методика оцифровки сейсмограмм и расчета спектральных и очаговых параметров описана в [2]. Пространственное положение землетрясений, для которых получены спектры, представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений, для которых рассчитаны спектры

1 – сейсмическая станция; 2 – береговая линия; 3 – эпицентр землетрясения.

Как видно из рис. 2, полученные амплитудные спектры надежно аппроксимируются в рамках модели Брюна [6] со спадом спектральной плотности в области высокочастотной асимптоты по квадратичному закону. Амплитудные спектры довольно просты, с уверенно выделяемой угловой частотой  $f_0$  и спектральной плотностью  $\Omega_0$ .

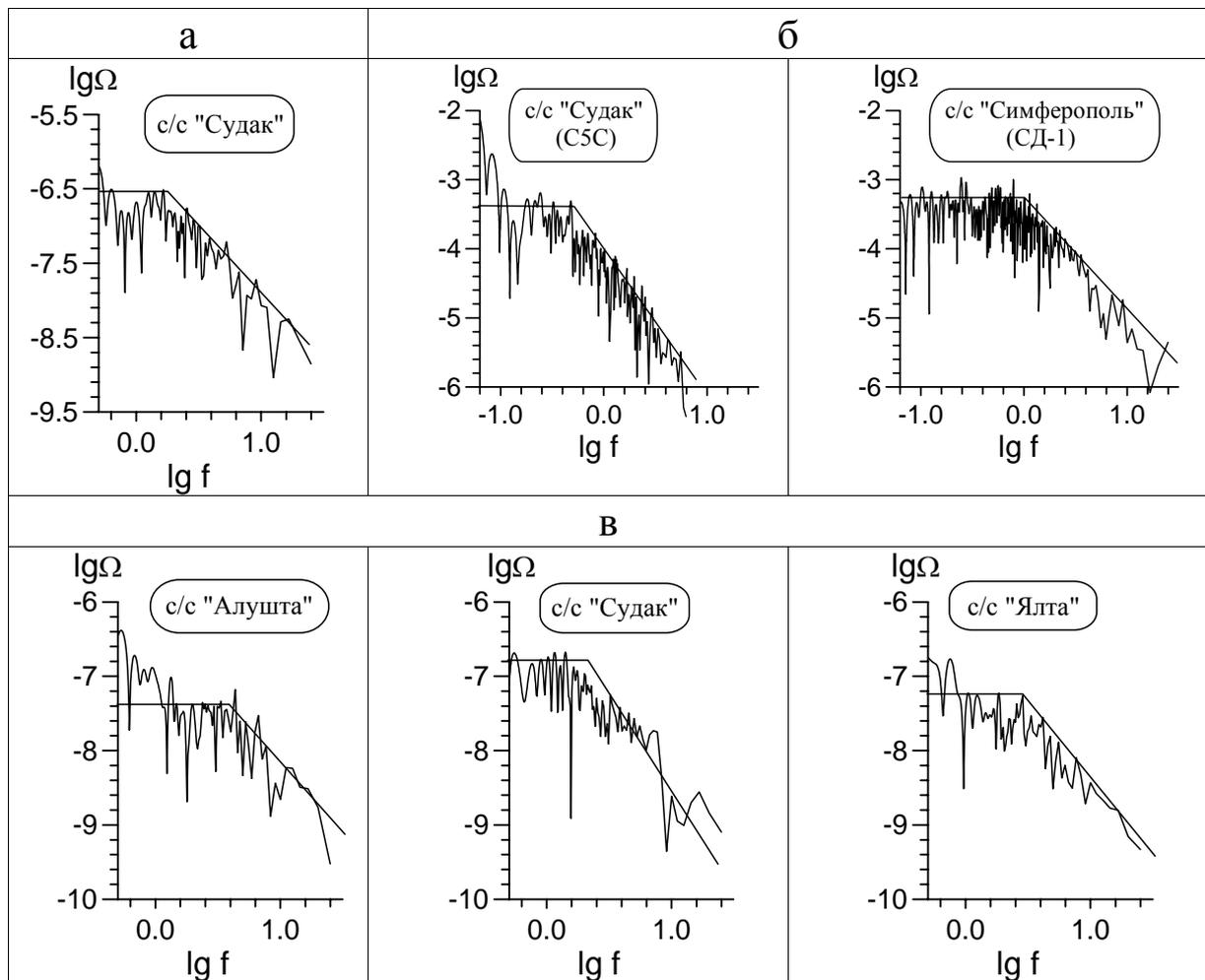


Рис. 2. Амплитудные спектры землетрясений 24 июня в 17<sup>h</sup>37<sup>m</sup> с  $K_{II}=9.0$  (а), 9 ноября в 02<sup>h</sup>18<sup>m</sup> с  $K_{II}=13.0$  (б) и 21 декабря в 00<sup>h</sup>42<sup>m</sup> с  $K_{II}=9.0$  (в)

Характеристики амплитудных спектров  $f_0$  и  $\Omega_0$  использованы для расчета динамических параметров очагов землетрясений Крыма (табл. 2).

Расчет динамических параметров, их усреднение проведено с использованием рекомендаций [7] и методических разработок для интерпретации спектров местных землетрясений [2]. Для слабых толчков 24 июня и 21 декабря расчет  $M_0$  проведен для средней функции направленности излучения их очага, при неизвестном механизме очага принятой равной значению 0.4 [8]. Для землетрясения 9 ноября 2002 г. при оценке  $M_0$  учтена направленность излучения на сейсмические станции на основе решения механизма очага [9]. Направленность излучения на станциях «Судак» и «Симферополь» составила 0.64 и 0.77 соответственно.

В табл. 2 представлены следующие параметры очагов землетрясений:  $\Omega_0$  – спектральная плотность,  $f_0$  – угловая частота,  $M_0$  – сейсмический момент,  $r_0$  – радиус круговой дислокации,  $\Delta\sigma$  – сброшенное напряжение,  $\bar{\eta}\sigma$  – кажущееся напряжение,  $\varepsilon$  – деформация сдвига,  $\bar{u}$  – средняя подвижка по разрыву. Приведены также средние некорректированные ( $S$ ) и скорректированные ( $S_k$ ) значения динамических параметров и, соответственно, стандартное отклонение их логарифмов ( $P$  и  $P_k$ ). Осреднение динамических параметров проводилось исходя из логнормального закона распределения определяемых величин [2].

Сюда же включены значения моментной магнитуды  $M_w$ , рассчитанной по сейсмическому моменту  $M_0$ . Вычисления выполнены по средним некорректированным значениям сейсмического момента по формуле Канамори [10]:

$$M_w = 2/3 \cdot \lg M_0 - 10.7.$$

В системе единиц СИ формула Канамори приобретает вид:

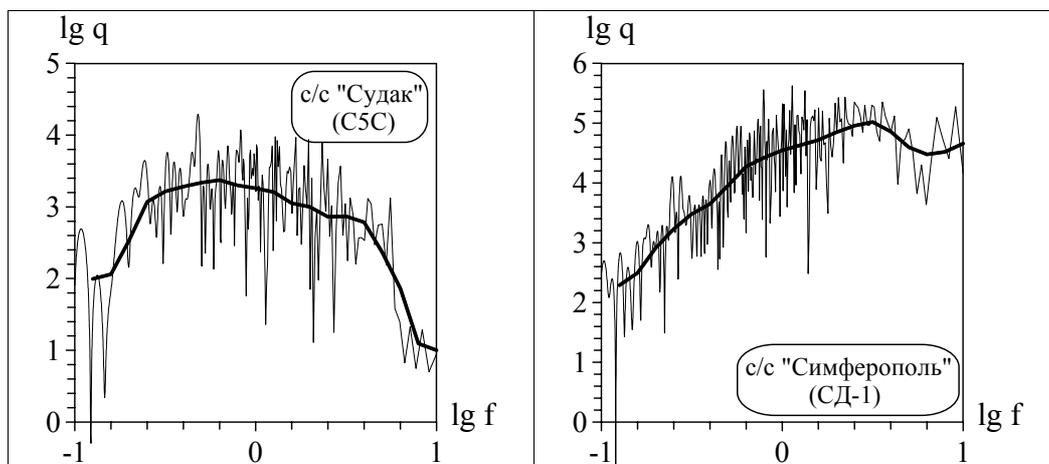
$$M_w = 2/3 \cdot (\lg M_0 + 7) - 10.7.$$

**Таблица 2.** Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений за 2002 г.

Станция	Составляющая	$\Delta$ , км	$\Omega_0$ , м·с	$f_0$ , Гц	$M_0$ , Н·м	$M_w$	$r_0$ , км	$\Delta\sigma$ , Па	$\varepsilon$	$\bar{u}$ , м
Землетрясение 24 июня: $t_0=17^h37^m45.8^s$ , $\varphi=44.46^\circ$ , $\lambda=34.04^\circ$ , $h=14$ км, $K_{II}=8.9$										
Судак	E	89	$0.285 \cdot 10^{-6}$	1.80	$6.06 \cdot 10^{13}$	3.15	0.66	$0.92 \cdot 10^5$	$3.07 \cdot 10^{-6}$	$0.15 \cdot 10^{-2}$
Землетрясение 9 ноября: $t_0=02^h18^m15^s$ , $\varphi=44.82^\circ$ , $\lambda=37.70^\circ$ , $h=29$ км, $K_{II}=13.0$										
Судак	E	213	$407.38 \cdot 10^{-6}$	0.5	$19347.8 \cdot 10^{13}$	5.49	2.65	$45.57 \cdot 10^5$	$151.91 \cdot 10^{-6}$	$29.16 \cdot 10^{-2}$
Симферополь	N	283	$562.34 \cdot 10^{-6}$	1.0	$29377.0 \cdot 10^{13}$	5.61	1.33	$549.42 \cdot 10^5$	$1831.4 \cdot 10^{-6}$	$176.21 \cdot 10^{-2}$
Землетрясение 21 декабря: $t_0=00^h42^m12.4^s$ , $\varphi=44.90^\circ$ , $\lambda=36.76^\circ$ , $h=21$ км, $K_{II}=9.0$										
Алушта	E	187	$0.041 \cdot 10^{-6}$	3.98	$2.17 \cdot 10^{13}$	2.86	0.32	$2.90 \cdot 10^5$	$9.67 \cdot 10^{-6}$	$0.23 \cdot 10^{-2}$
Судак	E	145	$0.198 \cdot 10^{-6}$	1.42	$8.11 \cdot 10^{13}$	2.98	0.89	$0.51 \cdot 10^5$	$1.71 \cdot 10^{-6}$	$0.11 \cdot 10^{-2}$
Ялта	E	210	$0.056 \cdot 10^{-6}$	2.88	$3.32 \cdot 10^{13}$	3.24	0.44	$1.75 \cdot 10^5$	$5.84 \cdot 10^{-6}$	$0.19 \cdot 10^{-2}$
S					$3.88 \cdot 10^{13}$	3.03	0.44	$2.01 \cdot 10^5$	$6.68 \cdot 10^{-6}$	$0.21 \cdot 10^{-2}$
P					$0.17 \cdot 10^{13}$		0.17	$0.36 \cdot 10^5$	$0.36 \cdot 10^{-6}$	$0.19 \cdot 10^{-2}$
$S_k$					$5.15 \cdot 10^{13}$		0.53	$1.54 \cdot 10^5$	$5.12 \cdot 10^{-6}$	$0.20 \cdot 10^{-2}$
$P_k$					$0.23 \cdot 10^{13}$		0.15	$0.25 \cdot 10^5$	$0.25 \cdot 10^{-6}$	$0.13 \cdot 10^{-2}$

Для Нижнекубанского-II землетрясения [11] расчетное значение моментной магнитуды  $M_w=5.5$  (табл. 2) выше среднего для данного диапазона энергетических классов и магнитуд по поверхностным волнам  $M_S=4.7$  и близко к значению  $M_w$ , рассчитанному по записям удаленных станций. Завышенное значение моментной магнитуды, по сравнению с магнитудой по поверхностным волнам, может служить дополнением в пользу версии о приуроченности очага к нижней части земной коры района.

На энергетических спектрах отчетливо выделяется максимум в ограниченной области периодов частот, с завалом в сторону больших и малых значений  $f$ . Пример энергетических спектров для Нижнекубанского-II землетрясения дан на рис. 3.



**Рис. 3.** Энергетические спектры Нижнекубанского-II землетрясения 9 ноября 2002 г. по записям сейсмических станций «Судак» и «Симферополь»

Жирной линией выделен сглаженный энергетический спектр в октавном окне по методике [12].

Максимумы  $Igq_{\max}$  энергетических спектров по сейсмическим станциям «Судак» и «Симферополь» находятся вблизи  $1 \text{ Гц}$ , однако ширина энергетических спектров различна. Слабовыраженный спад в сторону  $f \rightarrow \infty$  по станции «Симферополь», вероятнее всего, связан с большими искажениями записи длиннопериодным сейсмографом СД-1 в этом диапазоне частот. В целом можно отметить, что максимум энергии сейсмических волн от Нижнекубанского-II землетрясения 2002 г. на расстояниях 230–280 км приходится на сравнительно высокие частоты – от 0.3 до 4 Гц.

#### Л и т е р а т у р а

1. Пустовитенко А.Н., Пустовитенко Б.Г., Спиртус В.Б. Расчет амплитудных и энергетических спектров местных землетрясений экспресс-методом // Методы определения сейсмической опасности. – Кишинев: Штиинца, 1984. – С. 120–128.
2. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. – Киев: Наукова думка, 1990. – 249 с.
3. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. Крым. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
4. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2002 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2002–2003.
5. Bulletin of the International Seismological Centre for 2002. – Berkshire: ISC, 2003–2004.
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. Аптекман Ж.Я., Дараган С.К., Долгополов В.В., Захарова А.И., Зобин В.М., Коган С.Я., Корчагина О.А., Москвина А.Г., Поликарпова Л.А., Чепкунас Л.С. Спектры  $P$ -волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Унификация исходных данных и процедуры расчета амплитудных спектров // Вулканология и сейсмология. – 1985. – № 2. – С. 60–70.
8. Savage I.C. Radiation from a realistic model of faulting // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 1966. – 56. – P. 577–593.
9. Габсатарова И.П. Северный Кавказ. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
10. Hanks T.S., Kanamori H. A moment magnitude scale // J. Geophys. Res. – 1979. – 84. – № 135. – P. 2348–2350.
11. Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А. Нижнекубанское-II землетрясение 9 ноября 2002 года с  $K_p=13.0$ ,  $M_w=4.7$ . (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
12. Ризниченко Ю.В., Сейдузова С.С. Спектрально-временная характеристика сейсмической опасности. – М.: Наука, 1984. – 178 с.