

УДК 550.348.436(466.5)

**КРЫМ**

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

В 1995 г. в Крыму продолжали работать семь сейсмических станций (табл. 1). Параметры используемой на них аппаратуры представлены в табл. 2.

**Таблица 1.** Сейсмические станции Крыма, работавшие в 1995 г.

№	Станция			Дата открытия	Координаты			Принадлежность
	Название	Код			φ°, N	λ°, E	h <sub>y</sub> , м	
		Межд.	Рег.					
1	Ялта	YAL	Ялт	12.09.1927 г.	44.48	34.15	23.6	Отдел сейсмологии ИГ НАН Украины
2	Феодосия	FEO	Флс	11.10.1927 г.	45.02	35.39	40	
3	Симферополь	SIM	Смф	14.05.1928 г.	44.95	34.12	275	
4	Севастополь	SEV	Свс	28.06.1928 г.	44.54	33.68	42	
5	Алушта	ALU	Алш	03.10.1951 г.	44.68	34.40	61	
6	Казантип	KZP	Кзн	08.09.1981 г.	45.45	35.84	3	
7	Судак	SDK	Суд	18.10.1988 г.	44.89	35.00	108	

**Таблица 2.** Параметры сейсмографов сейсмических станций Крыма

№	Название станции	Тип прибора	Компо- ненты	T <sub>s</sub> , с	D <sub>s</sub>	T <sub>г</sub> , с	D <sub>г</sub>	σ <sup>2</sup>	V <sub>max</sub>	ΔT <sub>max</sub> , с	Скорость развертки, мм/мин
1	Ялта	CX, КПЧ	N,E,Z	0.75	0.70	0.29	2.00	0.19	20000	0.20-0.50	60
			N,Z	0.67	0.55	0.20	3.00	8.5*10 <sup>-4</sup>	1000	0.20-0.50	60
			E	0.67	0.55	0.14	4.00	5.2*10 <sup>-5</sup>	2000	0.20-0.50	60
2	Феодосия до 01.08.1995 г.	CX, СКМ-3 СД-1Ф	N	1.00	0.70	0.40	3.60	0.03	9000	0.10-0.70	60
			E	1.00	0.70	0.40	3.60	0.01	9000	0.10-0.70	60
			Z	1.00	0.70	0.40	3.60	0.01	9000	0.10-0.70	60
3	Симферополь до 20.06.1995 г. с 20.06.1995 г.	CX, КПЧ СКД СКД, КПЧ СД-1	N,E	1.00	0.70	0.36	3.00	0.10	10000	0.10-0.80	60
			Z	0.50	0.75	0.18	1.70	0.05	10000	0.10-0.30	60
			Z	1.00	0.70	0.36	4.20	0.127	10000	0.10-0.80	60
			N,E	0.95	0.62	0.09	12.00	2.9*10 <sup>-5</sup>	500	0.10-0.80	360
			Z	0.97	0.60	0.09	14.00	3.4*10 <sup>-5</sup>	500	0.10-0.80	360
			N,E,Z	25.00	0.50	1.20	8.00	0.25	1000	0.20-18	30
			N,E	22.40	0.45	1.40	7.00	1.4*10 <sup>-4</sup>	50	0.20-20	30
			Z	22.40	0.45	1.15	8.00	2.1*10 <sup>-4</sup>	50	0.20-20	30
			N,E	25.00	1.00	103.7	0.50	0.13	730	18-50	15
			Z	25.00	1.00	102.5	0.52	0.24	1000	18-50	15
4	Севастополь	СКМ-3 СКМ-3, КПЧ УСФ	N,E,Z	1.00	0.68	0.28	1.70	0.10	30000	0.15-0.60	60
			N	0.90	0.63	0.20	2.30	6.0*10 <sup>-3</sup>	3000	0.15-0.60	120
			E	0.90	0.63	0.20	2.30	6.5*10 <sup>-3</sup>	1000	0.15-0.60	120
			Z	0.90	0.63	0.20	2.40	7.8*10 <sup>-3</sup>	1000	0.15-0.60	120
			N,E	0.50	-	0.40	-	-	310000*	0.10-0.40	60
Z	0.50	-	0.40	-	-	220000*	0.10-0.40	60			
5	Алушта	CX, КПЧ	N,E	0.75	0.74	0.22	1.74	0.25	21000	0.20-0.50	60
			Z	0.88	0.90	0.22	1.60	0.35	21000	0.20-0.50	60
			N	0.61	0.57	0.19	2.00	9.3*10 <sup>-4</sup>	1000	0.20-0.40	120
			E	0.72	0.72	0.19	2.00	4.2*10 <sup>-4</sup>	2000	0.20-0.40	120
			Z	0.60	0.59	0.22	1.70	2.0*10 <sup>-5</sup>	1000	0.20-0.40	120
6	Казантип	СМ-3КВ	N,E,Z	1.00	-	-	-	-	1900*	0.30-0.70	60
7	Судак	СКМ-3, КПЧ	N,E,Z	1.00	0.70	0.27	1.80	0.18	20000	0.14-0.60	60
			N,E,Z	0.91	0.70	0.09	5.20	7.0*10 <sup>-4</sup>	1000	0.15-0.55	120

Примечание. Знаком \* помечены каналы с электронным усилителем.

В 1995 г. в параметрах сейсмической аппаратуры Крыма произошли некоторые изменения по сравнению с таковыми в 1994 г. [1]:

- расширена амплитудно-частотная характеристика вертикального канала CX сейсмической станции "Симферополь" (табл. 2);
- сняты с регистрации каналы СКД, работавшие в ждущем режиме на станциях "Севастополь" и "Ялта";
- прекращена регистрация каналом СД-Ф1 на скважинном пункте "Феодосия" по причине обрыва кабеля и отсутствия средств на проведение ремонтных работ.

В результате проведенной в 1994-1995 гг. работы [2] в короткопериодном диапазоне вместо прежних восьми типов амплитудно-частотных характеристик (рис. 1,а) стали использоваться три типа (рис. 1,б).

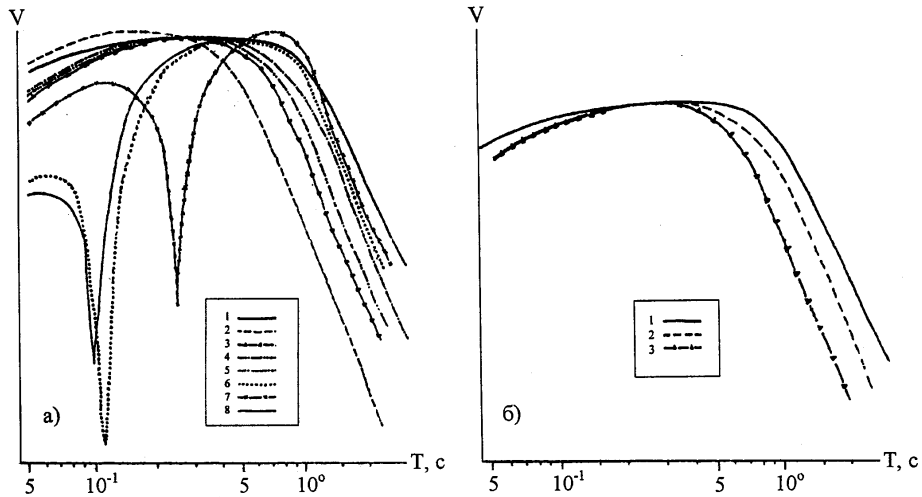


Рис. 1. Набор приведенных к одному уровню амплитудно-частотных характеристик сейсмических станций Крыма до 1995 г. (а) и с 1995 г. (б)

а): 1,2 – "Симферополь"; 3 – "Алушта"; 4 – "Ялта"; 5 – "Судак" и "Севастополь"; 6,7,8 – "Феодосия".  
 б): 1 – "Симферополь", "Феодосия"; 2 – "Алушта", "Ялта"; 3 – "Севастополь", "Судак".

Упростить и стандартизировать форму амплитудно-частотных характеристик на сейсмических станциях "Феодосия" и "Симферополь" удалось благодаря снижению общего фона промышленно-транспортных помех. Образцы записей местных землетрясений на сейсмической станции "Симферополь" до и после 20.06.1995 г. представлены на рис. 2. Ждущие режимы каналов СКД на сейсмических станциях "Севастополь" и "Ялта" пришлось снять из-за острого дефицита 2.5-вольтовых коллиматорных лампочек и осциллографной фотобумаги.

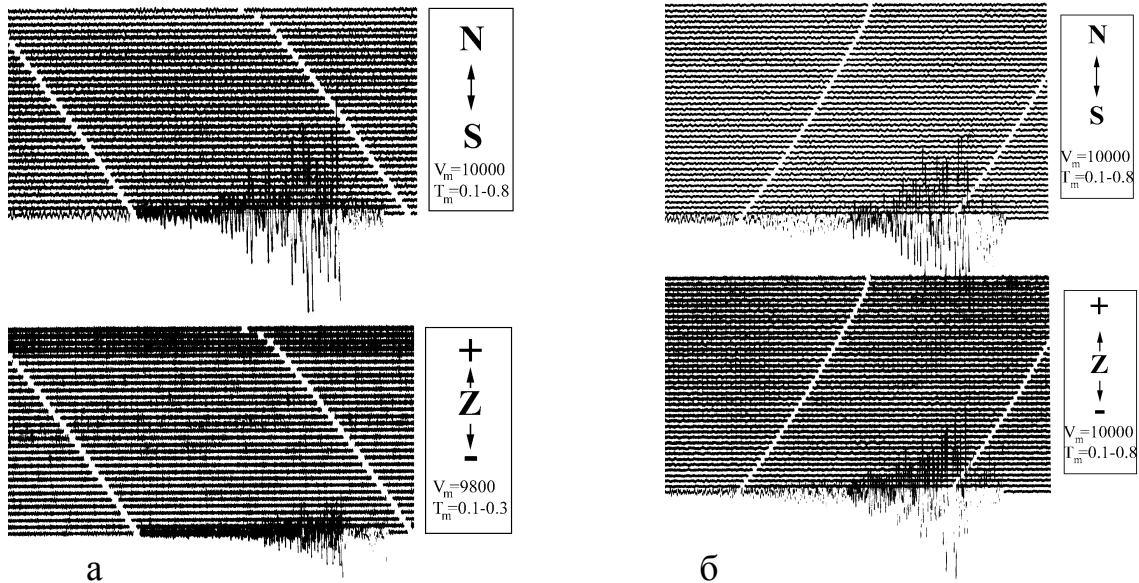


Рис. 2. Образцы записей местных землетрясений на станции "Симферополь" до (а) и после (б) идентификации каналов, произведенной 20.06.1995 г.

С 1983 г. в соответствии с постановлением комиссии ЕССН, границы региона ограничены координатами угловых точек: 47°N, 30°E; 47°N, 40°E; 45°N, 40°E; 45°N, 38°E; 42°N, 38°E; 42°N, 30°E. При существующей оснащённости и возможностях сети сейсмических станций Крыма в 1995 г. представительным классом для всего региона является  $K_{\min}=10$ . По отдельным районам  $K_{\min}$  распределяется следующим образом: для районов №№2,3,4 –  $K_{\min}=8$ ; №№1,5,6,7,8 –  $K_{\min}=9$ ; №9 –  $K_{\min}=10$  (табл. 3).

В работах [3,4] оценен уровень регистрации представительных землетрясений для всех станций, а в [5] приведен анализ эффективности работы станций Крыма за 10 лет, с 1986 г. по 1995 г. Этот анализ показал, что наиболее эффективными являются станции "Севастополь", "Алушта", "Судак" и "Ялта". Для них отношение всех зарегистрированных станцией событий к представительным составляет 94–100%, для сейсмических станций "Симферополь" и "Феодосия" – 50%. Самая низкая эффективность работы у станции "Казантип" (22%) и для повышения эффективности работы этой станции необходим перенос ее на другое место, в восточную часть Керченского полуострова.

В 1995 г. сейсмические станции Крыма зарегистрировали 59 землетрясений [6], основные параметры определены для 45 очагов с  $K_{\Pi}=4.3-10.6$  [7]. Распределение землетрясений по энергетическим классам дано в табл. 3, здесь же приведена суммарная сейсмическая энергия по районам. Карта эпицентров землетрясений с  $K_{\Pi} \geq 7$  представлена на рис. 3.

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

№	Район	$K_{min}$	$K_{II}$								$N_{\Sigma}$	$\Sigma E \cdot 10^9$ , Дж
			4	5	6	7	8	9	10	11		
1.	Севастопольский	9	-	-	1	1	-	-	-	-	2	0.007
2.	Ялтинский	8	2	2	5	7	1	-	-	17	0.145	
3.	Алуштинский	8	2	2	4	1	-	-	-	9	0.007	
4.	Судакский	8	-	-	2	1	-	-	-	3	0.007	
5.	Керченско-Анапский	9	-	-	-	3	7	1	1	12	41.450	
6.	Степной Крым	9	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
7.	Азово-Кубанский	9	-	-	-	-	1	-	-	1	0.079	
8.	Северо-Западный	9	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
9.	Черноморская впадина	10	-	-	-	-	-	1	-	1	0.631	
	Всего		4	4	12	13	9	2	-	45	42.326	

Примечание. Значение  $K_{min}$  в районах дано в соответствии с [4]; энергетические классы  $K_{II}$  определены по шкале Пустовитенко Б.Г. и Кульчицкого В.Е. [8]; целые значения классов  $K_{II}=4-11$  соответствуют интервалам: 3.6-4.5, 4.6-5.5 и т.д.;  $\Sigma E$  рассчитана по классам  $K_{II}$  без округления.

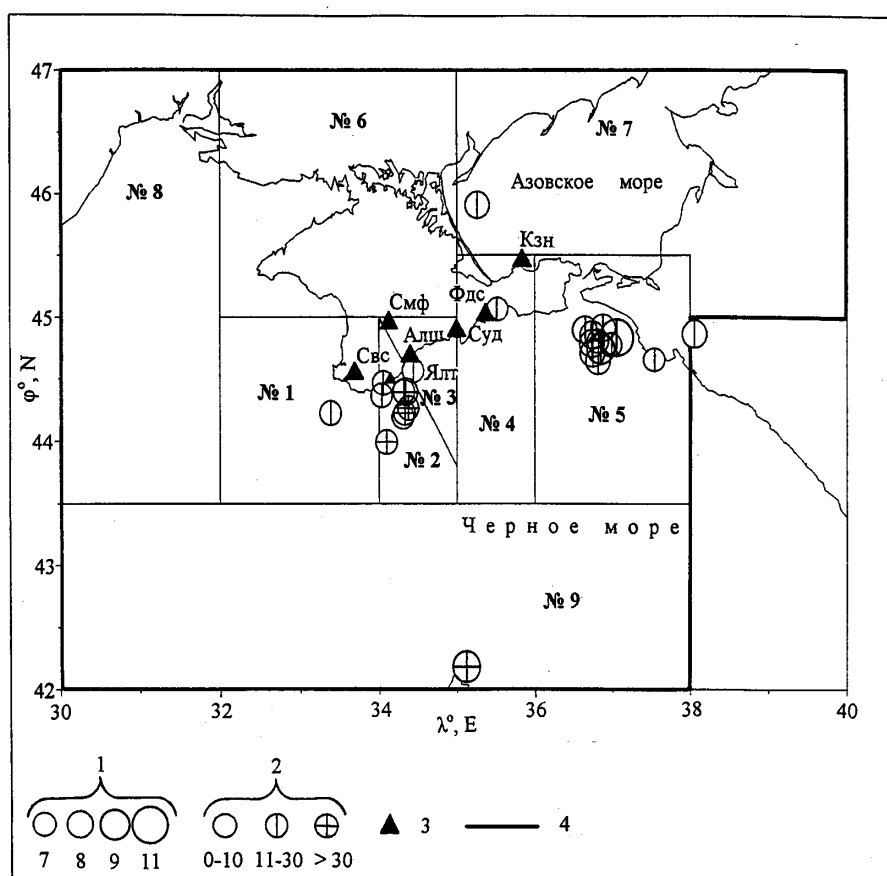


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Крыма

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

Основной вклад по выделившейся энергии внесло землетрясение 7 сентября в  $10^{h38^m}$  с  $K_{II}=10.6$  в районе №5 (Керченско-Анапском). За ним следуют по величине энергии землетрясения: 27 июня в  $06^{h33^m}$  с  $K_{II}=8.8$  в районе №9 (Черноморской впадине), 24 октября в  $20^{h58^m}$  с  $K_{II}=7.9$  в районе №7 (Азово-Кубанском), 2 сентября в  $05^{h53^m}$  с  $K_{II}=7.8$  в районе №2 (Ялтинском). Остальные районы в течение года были либо неактивными – районы №6,8 в табл. 3, либо малоактивными – районы №1,3,4, в которых максимальные значения  $K_{II}$  составили 6.7 (8 августа в  $23^{h10^m}$ ), 6.5 (8 февраля в  $11^{h24^m}$ ), 6.7 (1 января в  $22^{h09^m}$ ), соответственно.

Особого внимания заслуживает упомянутое выше землетрясение 24 октября в Азово-Кубанском районе с  $K_{II}=7.9$ , так как землетрясения в этом районе крайне редки. Последнее с  $K_{II}=9.9$  произошло 13 декабря 1991 г. ( $t_0=10^{h38^m}$ ) [9], т.е. четыре года длилось затишье.

Возможно, в этом районе и происходят более слабые землетрясения, но крымской сетью они не регистрируются. Этот факт наглядно продемонстрирован в табл. 3. Из нее видно, что в районах с первого по пятый регистрируются и минимальные и максимальные землетрясения, в остальных четырех либо вовсе не регистрируются, либо регистрируются только максимальные землетрясения, близкие к представительному уровню. Наибольший диапазон классов регистрируется в районах №2 и №3. Объясняется это, по-видимому,

не только тем, что здесь происходит сравнительно много слабых землетрясений, но и тем, что землетрясения из этих районов хорошо регистрируются близко расположенными к ним сейсмическими станциями "Ялта" и "Алушта". Намного хуже обстоит дело с другими районами, где сейсмических станций значительно меньше.

Из табл. 3 видно, что в большинстве районов параметры землетрясений определяются для значений энергетических классов на несколько порядков ниже представительного класса для этих районов. В основном это объясняется высоким качеством регистрации и высокой степенью профессиональной подготовки и мастерства интерпретаторов сейсмограмм в группе обработки землетрясений и сотрудников региональных станций.

В 1995 г. рассчитано 9 амплитудных спектров для 6 землетрясений Крыма в диапазоне  $K_{II}=6.5-10.6$  и  $\Delta=33-250$  км (табл. 4). Рассчитаны следующие спектральные и очаговые параметры: спектральная плотность  $\Sigma_0$ , угловая частота  $f_0$ , сейсмический момент  $M_0$ , радиус круговой дислокации  $r_0$ , сброшенное напряжение  $\Delta\sigma$ , деформация сдвига  $\varepsilon$  и средняя подвижка по разрыву  $\bar{u}$ .

Очаговые параметры землетрясений получены по амплитудным спектрам продольных Р- и поперечных S-волн, зарегистрированных сейсмическими станциями "Симферополь", "Алушта", "Судак", "Севастополь" (сейсмографы СХ и СКМ-3). Скорость развертки составляла 60 мм/мин. Методика оцифровки сейсмограмм и расчета спектральных и очаговых параметров описана в [10]. На рис. 4 приведены примеры рассчитанных амплитудных спектров для землетрясения 24 июня в  $13^h23^m$  с  $K_{II}=9.0$ .

Таблица 4. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма за 1995 г.

С/ст	Комп.	$\Delta$ , км	$\Sigma_0 \cdot 10^{-6}$ , м·с	$f_0$ , Гц	$M_0 \cdot 10^{13}$ , Н·м	$r_0$ , км	$\Delta\sigma \cdot 10^5$ , Па	$\varepsilon \cdot 10^{-6}$	$\bar{u} \cdot 10^{-2}$ , м
Землетрясение 8 февраля: $t_0=11^h24^m15.0^s$ , $\varphi=44.56^\circ$ , $\lambda=34.44^\circ$ , $h=17$ км, $K_{II}=6.5$									
Судак	Е	57	0.041	3.09	0.682	0.41	0.441	1.47	0.043
Землетрясение 20 февраля: $t_0=14^h08^m34.4^s$ , $\varphi=44.89^\circ$ , $\lambda=36.65^\circ$ , $h=20$ км, $K_{II}=8.4$									
Судак	Н	130	0.117	2.36	4.306	0.53	1.252	4.17	0.161
Землетрясение 24 июня: $t_0=13^h23^m22.8^s$ , $\varphi=44.74^\circ$ , $\lambda=36.85^\circ$ , $h=28$ км, $K_{II}=9.0$									
Судак	Н	147	0.132	2.51	6.993	0.53	2.075	6.92	0.265
Алушта	Е	193	0.056	3.80	3.861	0.35	3.969	13.23	0.335
Севастополь	Н	251	0.028	3.46	2.500	0.38	1.937	6.46	0.180
Землетрясение 27 июня: $t_0=06^h33^m20.7^s$ , $\varphi=42.18^\circ$ , $\lambda=35.12^\circ$ , $h=33$ км, $K_{II}=8.8$									
Судак	Н	301	0.068	3.04	7.279	0.44	3.823	12.74	0.403
Землетрясение 2 сентября: $t_0=05^h53^m52.3^s$ , $\varphi=44.39^\circ$ , $\lambda=34.34^\circ$ , $h=35$ км, $K_{II}=7.8$									
Алушта	Е	33	0.401	3.46	0.697	0.38	0.540	1.80	0.050
Судак	Е	76	0.088	2.36	2.603	0.56	0.643	2.14	0.087
Землетрясение 7 сентября: $t_0=10^h38^m11.4^s$ , $\varphi=44.83^\circ$ , $\lambda=37.05^\circ$ , $h=17$ км, $K_{II}=10.6$									
Симферополь	Е	231	1.356	1.27	87.892	0.99	3.981	13.27	0.951

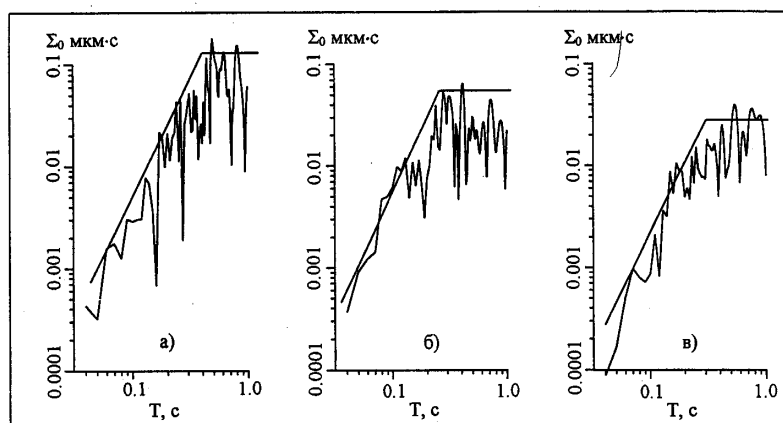


Рис. 4. Амплитудные спектры землетрясения 24 июня в  $13^h23^m$  с  $K_{II}=9.0$  по записям на станциях "Судак" (а), "Алушта" (б), "Севастополь" (в)

Было выполнено сопоставление динамических параметров очагов для упомянутых выше землетрясений 1995 г. с характеристиками очагов крымских землетрясений за предыдущие годы (рис. 6). Уравнения средней долговременной зависимости радиуса круговой дислокации  $r_0$  и сейсмического момента  $M_0$  от энергетического класса  $K_{II}$  вычислялись методом ортогональной регрессии [8]:

$$\lg \bar{r}_0 = (0.050 \pm 0.004) K_{II} - (0.76 \pm 0.04), \quad (1)$$

$$\lg M_0 = (0.58 \pm 0.01) K_{II} - (15.8 \pm 0.1) \quad (2).$$

Значения динамических параметров землетрясений 1995 г. в табл. 4 сопоставимы с аналогичными характеристиками очагов землетрясений за более длительное время и находятся в пределах разброса данных за многие годы, однако значения радиуса круговой дислокации  $r_0$  землетрясений 1995 г., как и землетрясений 1994 г. [1], характеризуются, в основном, завышенными величинами  $r_0$  по сравнению с его средними долговременными значениями (рис. 5,а), значения  $M_0$  близки к средним (рис. 5,б).

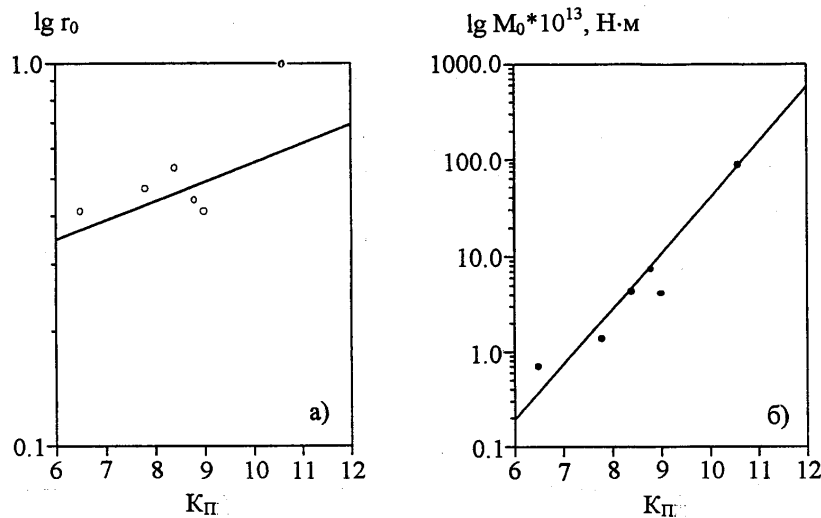


Рис. 5. Экспериментальные значения радиуса круговой дислокации  $r_0$  (а) и сейсмического момента  $M_0$  (б) очагов землетрясений из табл. 4 относительно средних долговременных линейных зависимостей  $r_0=f(K_{П})$ ,  $M_0=f(K_{П})$  из [8].

Из формулы для определения радиуса круговой дислокации

$$r_0 = 0.35 \cdot v_{p,s} / f_0$$

из [11] следует, что увеличение радиуса круговой дислокации возможно при возрастании скорости  $v_{p,s}$  объемных волн и (или) уменьшении угловой частоты  $f_0$ . Поскольку из многолетних наблюдений известно, что скорость в данном районе является мало изменяющейся величиной, то основной причиной увеличения радиуса круговой дислокации является уменьшение угловой частоты. Это может свидетельствовать о разуплотнении очаговой среды. Возможно, именно этим объясняется аномально низкий уровень сейсмичности в Крымском регионе в последние годы. Если это так, то спектральные характеристики землетрясений могут оказаться достаточно надежным критерием состояния среды в изучаемом районе.

#### Л и т е р а т у р а

1. Свидлова В.А. 2000. Крым // Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 9-11.
2. Пустовитенко А.Н. 1997. Об идентификации амплитудно-периодных характеристик сейсмических станций Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1995–1996 г. Симферополь: Изд-во Ин-та геофизики НАН Украины, Крымского экспертного Совета по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений. С. 41–47.
3. Аранович З.И., Дубинский И.Б., Пустовитенко Б.Г. 1980. Об эффективной чувствительности сейсмических наблюдений в Крыму и методах ее повышения // Детальное сейсмическое районирование. М.: Наука. С. 103–111.
4. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. 1989. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. Киев: Наукова Думка. 192 с.
5. Пустовитенко Б.Г., Терентьев М.Н. 1997. Об эффективности сейсмических станций Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1995–1996 г. Симферополь: Изд-во Ин-та геофизики НАН Украины, Крымского экспертного Совета по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений. С. 130–142.
6. Свидлова В.А., Терентьев М.Н. 1997. Сейсмичность Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1995–1996 г. Симферополь: Изд-во Ин-та геофизики НАН Украины, Крымского экспертного Совета по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений. С. 6-8.
7. Свидлова В.А. Крым. См. раздел III (Каталоги землетрясений) в наст. сб.
8. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. 1974. Об энергетической оценке землетрясений Крымского региона // Магнитудно-энергетическая классификация землетрясений. Т.2. М.: Изд-во ИФЗ АН СССР. 113–124.
9. Свидлова В.А. 1997. Крым // Землетрясения в СССР в 1991 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 109.
10. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. 1990. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. Киев: Наукова Думка. 249 с.
11. Brune J.N. 1970. Tectonic stress and the spectres of seismic shear waves from earthquake // J. Geophys. Res. V.75. №26. P. 4997–5009.