

Б. Г. Пустовитенко, В. Е. Кульчицкий, Т. А. Пантелева
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КРЫМА

Аппаратура и методика обработки материалов наблюдения

В 1983 г. регистрация землетрясений Крымского региона проводилась сетью сейсмических станций Крымской опытно-методической сейсмологической партии Института геофизики АН УССР, которая по сравнению с предыдущим годом дополнилась сейсмологическим пунктом Казантип. Из-за высокого уровня помех в районе этой станции регистрация землетрясений велась при максимальном увеличении $V_m = 2000$ на пернодах $T_m = 0,08 \div 0,5$ с прибором ВЭГИК. Кроме того, с ноября 1983 г. на базе сейсмической станции Феодосия начала непрерывная регистрация скважинным сейсмографом СД-1Ф, установленным в скважине на глубине $h = 1000$ м.

Параметры основной аппаратуры опорных и других пяти региональных станций остань без изменений [1]. Характеристики дополнительной аппаратуры, установленной на сейсмических станциях, даны в табл. 1.

В 1983 г. комиссией по ЕССН приняты новые границы Крымского региона (рис. 1). Весь регион разделен на девять сейсмоактивных районов, для четырех из которых (1-4) дано обоснование в работе [2]. Другие районы выделены условно и названы по географическим признакам.

Для всего региона (в пределах новых границ) представителями являются землетрясения с $K \geq 10$, а для основных сейсмоактивных районов вблизи побережья Крыма (1-4) - с $K \geq 8$ [3].

Методика определения основных параметров землетрясений осталась прежней [1]. В отдельных случаях, когда имелась информация о временах вступления прямых P - и S -волн на четырех станциях, головных P -волн на пяти станциях, расчет координат гипоцентров наряду с ручным способом проводился и на ЭВМ. Потрешности в определении гипоцентров землетрясений оценивались с учетом качества записи, количества станций, зарегистрировавших землетрясение, предпочтительности способа обработки [4]. Энергетическая оценка землетрясений проводилась по региональной но-

Таблица 1
 Величина максимального увеличения и соответствующие периоды дополнительной аппаратуры

Сейсмическая станция	Тип аппаратуры	Составляющие	Уровень увеличения V_m / V_{m2}	Период T_m , с
Симферополь	CSC	N-S, E-W, Z	100/10	0,05-3,5
Севастополь	CSC	N-S, E-W, Z	100/10	0,05-0,5
	УСФ с передатчиком ГФ-III	N-S, E-W, Z	120 000	0,16-0,42
Ялта	CSC	N-S, E-W, Z	100/10	0,05-2,0
Алушта	CSC	N-S, E-W, Z	100/10	0,05-0,5
Феодосия	CSC (скорость)	N-S, E-W, Z	100/10	0,03-4,0
	СД-1Ф (скважинный сейсмограф)	Z	2,5/0,1 70 000	0,16-0,53

Примечание. V_{m1} и V_{m2} - два уровня увеличения на каждой составляющей записи.

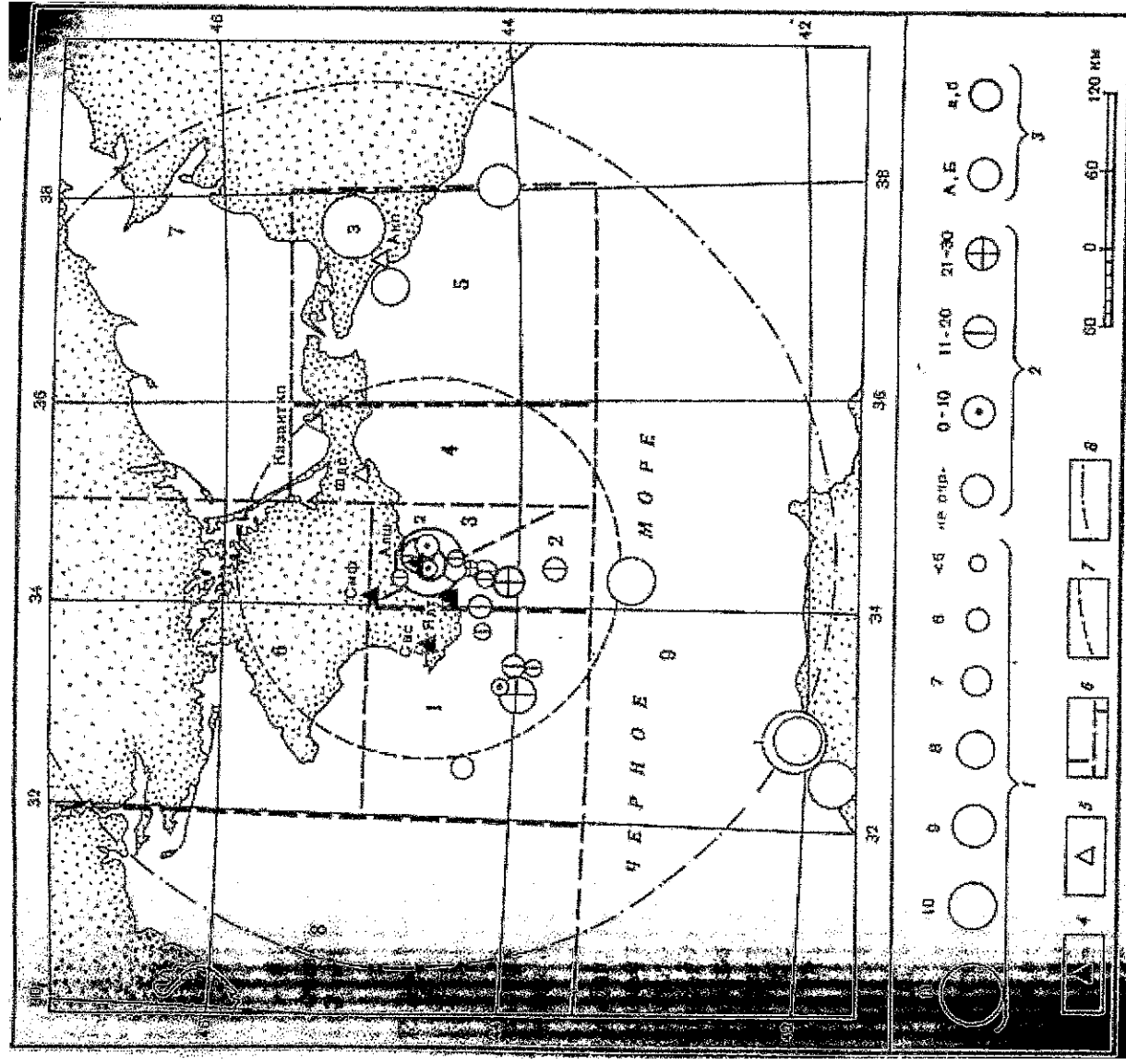


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Крыма

1 - энергетический класс K ; 2 - глубина очага, км; 3 - класс точности; 4 - опорный сейсмический эпицентр; 5 - региональная граница; 6 - граница района; 1 - Севастопольский, 2 - Ялтинский, 3 - Алуштинский, 4 - Судакско-Феодосийский, 5 - Керченско-Алданский, 6 - Степной Крым, 7 - Азово-Кубанский, 8 - Северо-Западный, 9 - Черноморская впадина; 7 - область представительства

мограмме [2], по формулам, связывающим энергетический класс с длительностью колебаний [5]. Магнитуда оценена только по номограммам с использованием коды волн [6].

Динамические параметры: сейсмический момент M_0 , радиус круговой дислокации r_0 , сброшенное напряжение $\Delta\sigma$, средняя подвижка по разрыву Δd , упругая деформация сдвига ϵ - рассчитывались по амплитудным спектрам продольных (P) и поперечных (S) волн, зарегистрированных на региональных станциях Алушта, Ялта, Симферополь, Севастополь сейсмографами системы СХ и СКМ-3 при скорости развертки записи 120 мм/мин. Исключением является землетрясение 28 мая, для которого получены

спектры по записям прибора ССС и заглубленного канала СХ КИЧ с разверткой до 480 мм/мин.

Спектры Фурье рассчитаны экспресс-методом по программе, описанной в работе [7]. Методика определения динамических параметров и их коррекции с учетом стандартных поправок аналогична примененной в 1982 г. [8].

Общая характеристика сейсмичности

В 1983 г. в Крымском регионе выделилось $2 \cdot 10^{11}$ Дж сейсмической энергии, что на порядок выше по сравнению с 1981 и 1982 гг. Всего региональными станциями зарегистрировано 40 землетрясений с энергетическими классами от 4 до 11 (см. рис. 1). Распределение их числа по интервалам энергии следующее:

K	3,6-4,4	4,5-5,4	5,5-6,4	6,5-7,4	7,5-8,4	8,5-9,4	9,5-10,4	≥ 10,5
Число зем- летрясений	2	11	11	7	2	2	2	3

Наиболее сильные землетрясения, с $K > 10$, произошли 14 и 17 февраля в районе Черноморской впадины, 28 мая вблизи побережья Южного берега Крыма и 30 июня на территории Кубани.

В районах 4, 6, 7, 8 не зарегистрировано ни одного события. Основная часть слабых толчков ($K \approx 8$), как и в предыдущие годы, относится к области континентального склона вблизи горюдов Лита-Алушта (районы 1-3). Можно отметить некоторую особенность пространственно-временной последовательности возникновения землетрясений 1983 г. в центральной части региона. На рис. 2 эпицентры слабых толчков из районов 1-3, следующих во времени один за другим, соединены стрелками. Отмечается три преобладающих направления в азимутальных секторах: $50-70^\circ$ ($230-250^\circ$) с 4 марта по 28 мая (до момента ошуглого землетрясения), $90-100^\circ$ ($270-280^\circ$) с 6 июня по 12 августа и $10-30^\circ$ ($190-210^\circ$) с 24 августа по 20 декабря (рис. 2).

Спектральные характеристики изучены для шести землетрясений с $K = 5,6 \div 10,9$, $\Delta = 15 \div 65$ км из районов 2 и 3 и одного с $K = 10,3$, $\Delta = 135 \div 195$ км из района 9. Всего по записям отдельных станций и разным типам волн получено 28 спектров.

В табл. 2 приведены угловые частоты f_0 , спектральные плотности Ω_0 спектров Фурье и результаты определения динамических параметров очагов по записям отдельных станций для каждого землетрясения (с указанием станции, вида волны и типа регистрирующего прибора). Средние значения всех определяемых величин ($M_0, f_0, \Delta \sigma, \bar{\epsilon}, \Delta \sigma$) с указанием стандартного отклонения (σ) для логарифма среднего значения даны в табл. 3. Кроме того, в таблице приведены средние скорректированные значения

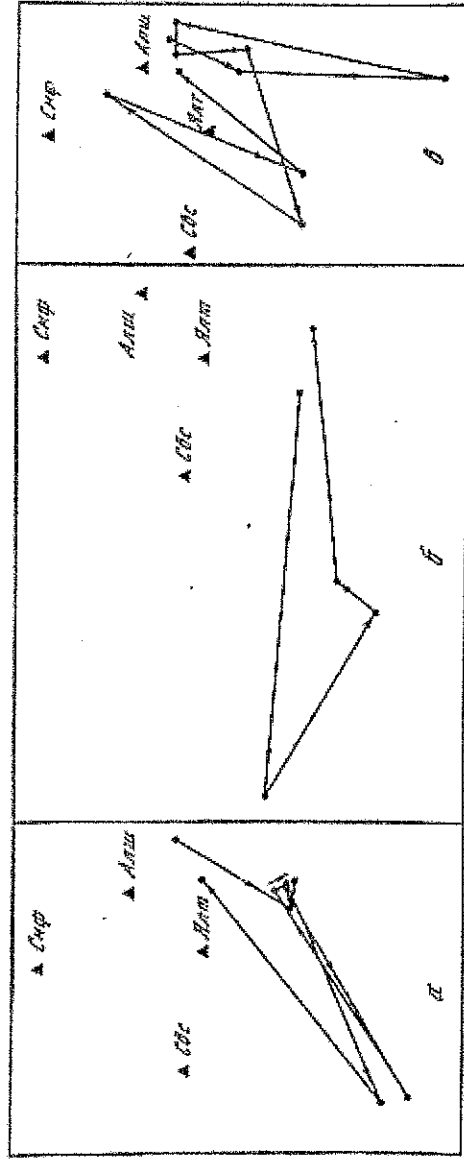


Рис. 2. Пространственно-временная последовательность эпицентров землетрясений а - 4 марта - 28 мая; б - 6 июня - 24 августа; в - 20 августа - 20 декабря

Таблица 2

Спектральные и динамические параметры (станционные данные)

Дата	Время, ч мин	Сейсмическая станция	Тип прибора	Составляющая	Δ , км	f_0 , Гц	$\Omega_0 \cdot 10^{-6}$ м·с	$M_0 \cdot 10^{13}$ Н·м	r , км	$\Delta \sigma \cdot 10^5$ Па	$\bar{\epsilon} \cdot 10^6$	$\Delta \sigma \cdot 10^{-2}$ м
17. II	16 34	Ялт	СХ	E-W	148	2,78	1,4	59,41	0,45	28,01	93,36	3,06
		Аллу	СХ	N-S	160	2,5	1,0	45,72	0,5	15,71	52,37	1,91
		СВС	СКМ-3М	N-S	193	1,47	1,1	60,27	0,86	4,22	14,05	0,87
		Аллу	СХ	N-S	135	3,7	0,38	16,85	0,34	18,83	62,77	1,54
		Ялт	СХ	Z	160	4,76	0,12	12,69	0,46	5,76	19,19	0,64
		Ялт	СХ	Z	148	4,55	0,08	18,84	0,48	7,44	24,79	0,86
04. III	18 38	Ялт	СХ	N-S	33	5,0	0,03	0,22	0,22	0,85	2,80	0,05
		Аллу	СХ КИЧ	N-S	10	3,23	30	54,91	0,33	70,06	233,52	5,50
		Аллу	СХ	N-S	10	6,25	42,0	76,87	0,17	713,36	2377,85	28,90
		СВС	СХ	N-S	47	1,43	9,0	84,05	0,57	19,84	66,15	1,85
		СМФ	СХ КИЧ	N-S	47	1,96	9,0	84,05	0,57	19,84	66,15	1,85
		СВС	СХ	N-S	59	2,63	2,1	24,52	0,43	13,99	46,65	1,44
		СВС	СХ КИЧ	N-S	59	2,7	2,0	23,35	0,43	13,99	46,65	1,44
		Ялт	СХ	Z	26	5,26	0,55	10,45	0,37	9,40	31,32	0,83
		Ялт	СХ КИЧ	N-S	26	2,38	9,0	47,63	0,47	20,13	67,11	2,28
28. V	17 05	Аллу	СХ	N-S	14	3,33	0,04	0,09	0,32	0,12	0,41	0,009
		Аллу	СХ	N-S	14	3,33	0,04	0,09	0,32	0,12	0,41	0,009
28. V	17 52	Аллу	СХ	N-S	13	2,78	0,46	1,14	0,38	0,93	3,1	0,08
		Ялт	СХ	E-W	25	4,17	0,04	0,15	0,25	0,41	1,36	0,02
		Ялт	СХ	E-W	25	4,17	0,04	0,15	0,25	0,41	1,36	0,02
06. VI	02 02	Ялт	СХ	N-S	29	4,17	0,11	0,84	0,27	1,91	6,36	0,12
		СВС	СКМ-3М	N-S	29	3,7	0,09	0,29	0,3	0,46	1,55	0,03
		Аллу	СХ	E-W	59	4,35	0,09	1,17	0,26	3,0	10,0	0,19
		Аллу	СХ	Z	59	5,26	0,05	2,37	0,37	2,13	7,09	0,19
		Ялт	СХ	Z	29	5,88	0,04	1,02	0,33	1,28	4,26	0,10
		Ялт	СХ	N-S	28	6,66	0,08	0,59	0,17	5,48	18,86	0,22
		Ялт	СХ	N-S	28	3,7	0,08	2,12	0,52	0,66	2,21	0,08
		СВС	СКМ-3М	N-S	62	3,33	0,07	0,87	0,34	1,01	3,35	0,08
		Аллу	СХ	N-S	10	2,35	1,5	7,94	0,44	4,2	13,97	0,44
29. X	11 10	Аллу	СХ	N-S	10	2,35	1,5	7,94	0,44	4,2	13,97	0,44
		Аллу	СХ	N-S	10	2,35	1,5	7,94	0,44	4,2	13,97	0,44

Таблица 3

Средние значения динамических параметров

Дата	Время, ч. мин.	$M_0, 10^{13} \text{ Н} \cdot \text{м}$ (s^*)	$M_0, 10^{13} \text{ Н} \cdot \text{м}$ (s^*)	$r, \text{ км}$ (s^*)	$r, \text{ км}$ (s^*)	$r, \text{ км}$ (s^*)	$\Delta \sigma, 10^5 \text{ Па}$ (s^*)
17.II	16 34	29,50 (0,12)	35,49 (0,15)	0,50 (0,05)	0,52 (0,02)	0,52 (0,02)	10,69 (0,13)
04.III	18 38	42,61 (0,12)	47,38 (0,07)	0,41 (0,07)	0,33 (0,04)	0,43 (0,04)	27,94 (0,22)
28.V	17 05	0,41 (0,44)	0,05 (0,57)	0,31 (0,09)	0,39 (0,04)	0,39 (0,04)	0,62 (0,18)
28.V	17 52	0,93 (0,15)	1,54 (0,10)	0,30 (0,03)	0,40 (0,02)	0,40 (0,02)	1,48 (0,14)
06.VI	02 02	1,71 (0,19)	2,80 (0,14)	0,35 (0,08)	0,43 (0,06)	0,43 (0,06)	1,82 (0,18)

Таблица 3 (окончание)

Дата	Время, ч. мин.	$\Delta \sigma, 10^5 \text{ Па}$ (s^*)	$\epsilon, 10^6$ (s^*)	$\epsilon, 10^6$ (s^*)	$\epsilon, 10^6$ (s^*)	$\Delta \sigma, 10^5 \text{ Па}$ (s^*)	$\Delta \sigma, 10^5 \text{ Па}$ (s^*)
17.II	16 34	11,00 (0,13)	35,65 (0,13)	37,34 (0,13)	1,28 (0,10)	1,40 (0,13)	1,40 (0,13)
04.III	18 38	0,76 (0,14)	93,15 (0,22)	2,52 (0,14)	2,74 (0,17)	0,06 (0,11)	0,06 (0,11)
28.V	16 50	0,03 (0,003)	2,05 (0,18)	0,12 (0,003)	0,05 (0,27)	0,003 (0,04)	0,003 (0,04)
28.V	17 05	0,41 (0,08)	4,95 (0,14)	3,59 (0,08)	0,11 (0,14)	0,10 (0,08)	0,10 (0,08)
06.VI	02 02	1,08 (0,14)	6,08 (0,18)	5,08 (0,14)	0,15 (0,14)	0,16 (0,11)	0,16 (0,11)

Таблица 4

Распределение динамических параметров по энергетическим классам

K	$M_0, 10^{13} \text{ Н} \cdot \text{м}$	$r, \text{ км}$	$\Delta \sigma, 10^5 \text{ Па}$	$\epsilon, 10^6$	$\Delta \sigma, 10^5 \text{ Па}$
6	0,05	0,4	0,03	0,12	0,003
7	0,6	0,3-0,4	0,4-0,8	1,3-2,5	0,04-0,06
8	1,5-3,2	0,4	1,1-1,7	3,5-5,1	0,1-0,2
10-11	35-51	0,4-0,5	11-27	37-91	1,4-2,9

($M_0, r, \delta, \Delta \sigma, \epsilon, \Delta \sigma^*$) и стандартные отклонения логарифма их средних значений (s^*). Корректировка проводилась с учетом стационных поправок в соответствии с корреляционными зависимостями, приведенными в работе [8]. Видно, что после введения стационных поправок среднеквадратичные ошибки во всех случаях уменьшились.

Распределение динамических параметров для различных значений энергетических классов приведено в табл. 4.

С ростом энергетического класса K существенно увеличиваются значения всех параметров, кроме радиуса круговой дислокации r_0 , определяемого по величине угловой частоты f_0 . В целом значения очаговых параметров землетрясений 1983 г. согласуются с данными за предыдущие годы [8,9].

Ощутимые землетрясения

В этом году было отмечено два ощутимых толчка: 28 мая ($K = 10,9$) и 30 июля ($K = 10,7$). Первое землетрясение интенсивностью 4 балла ощущалось на узкой прибрежной полосе от Алушты до Кипарисного. Общая площадь осязаемости около 450 км².

Обработка макросейсмической информации проводилась по методике [10]. Рассматривались только однородные материалы (этаж — не выше второго, состояние людей — в покое, внутри помещений и т.п.) Оценочный балл I_0 рассчитывался по степени реакции объектов типа L_1 (внутри помещения, бодрствующе, в состоянии покоя). Результаты обработки по обследованным пунктам представлены в табл. 5. При этом средняя степень реакции объектов dI_0 по данному пункту δI_0 варьировала от 0,02 до 1,81, а погрешность в определении балла только для пяти пунктов составила 0,5 балла, для остальных $\delta I_0 = 0,25$ балла. На рис. 3 дана карта изосейст землетрясения 28 мая. Как видно, изосейсты вытянуты вдоль направления юго-юго-запад — северо-восток и соответствуют преобладающим направлениям осей эллипсов изосейст наиболее сильных землетрясений Крыма. Параметры гипоцентра землетрясения по макросейсмическим данным следующие: $\varphi = 44,62^\circ, \lambda = 34,40^\circ, h_1 = 8 \text{ км}, I_0 = 4,5$ балла.

Землетрясение 28 мая зарегистрировано всеми сейсмическими станциями Крымской сети, в том числе аппаратурой CSC (рис. 4, а), и каналами пониженной чувствительности (рис. 4, б).

По инструментальным данным получены следующие параметры гипоцентра: $\varphi = 44,59^\circ, \lambda = 34,45^\circ, h = 7 \text{ км}, K = 10,9, m_c = 4,2$ — по номограмме с использованием сейсмической коды [6]. Землетрясение сопровождалось шестью слабыми афтершоками ($K = 4 \div 7$), пять из которых обработаны только по данным ближайшей к очагу

Таблица 5

Макросейсмические данные о землетрясении 28 мая

№ п/п	Пункт	Δ, км	№ п/п	Пункт	Δ, км
4-5 баллов					
1	Лазурное	3	12	Гурзуф	12
4 балла					
2	Карабах	2	13	Изобильное	10
3	Карасан	3	14	Севидворье	12
4	Кипарисное	4	15	Лучистое	14
5	Алушта	6	16	Ботаническое	17
3-4 балла					
6	Малый Маяк	3	17	Соллевогорское	18
7	Виноградное	5	18	Генеральское	20
8	Запрудное	6	19	Ялта	23
9	Фрунзенское	6	20	Не ощущалось	
10	Нижняя Кутузовка	9	21	Красокаменка	11
11	Верхняя Кутузовка	12	22	Ангарский перевал	17
			23	Малореженское	22
				Ливадия	26

Рис. 3. Карта изосейс землетрясения 28 мая
1 - балльность; 2 - макросейсмический эпицентр; 3 - инструментальный эпицентр

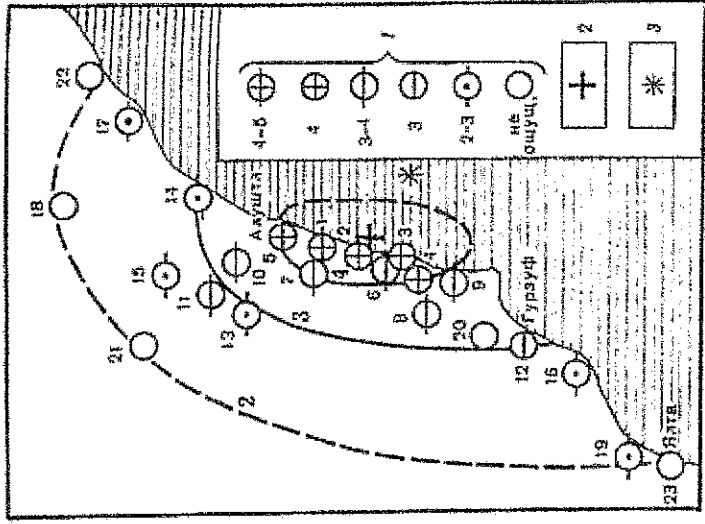
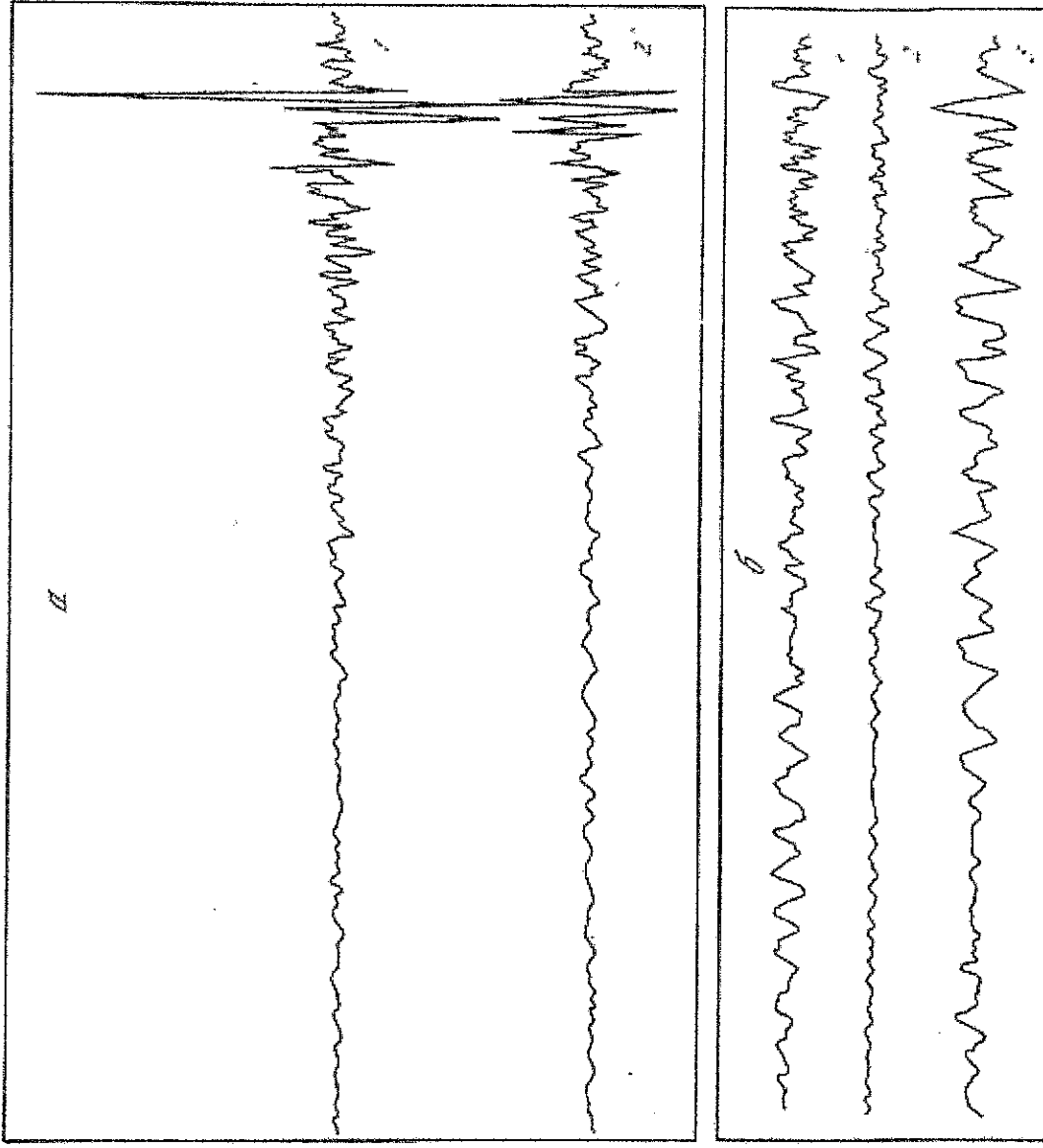


Рис. 4. Звучис ощущенного землетрясения 28 мая
а - станция Алушта, сейсмограф С5С; 1 - N-S, V = 10; 2 - E-W, V = 1000; б - станция Симферополь, сейсмограф СХ; 1 - E-W, V = 1000, T_c = 0,05 ± 0,7 с; 2 - Z, V = 1000, T_c = 0,05 ± 0,3 с; 3 - N-S, V = 1000, T_c = 0,05 ± 0,7 с



станции Алушта. Для главного толчка и двух афтершоков рассчитаны спектры S-волн и определены динамические параметры очагов (см. табл. 3).

Размеры круговой дислокации (r_0) главного толчка и афтершоков в 17 ч 05 мин и 17 ч 52 мин одинаковы ($r_0 = 0,43; 0,39; 0,39$ соответственно), несмотря на большое различие в энергетических классах ($K = 11; 5,6; 7$). Кроме того, для главного толчка значение r_0 на порядок меньше, а для афтершока в 17 ч 05 мин на такую же величину выше по сравнению со значениями r_0 , полученными за предыдущие годы при соответствующих уровнях энергии землетрясений [8, 9]. По сравнению с подобными событиями очаг главного толчка можно отнести к "жестким" ("резким" [11]), а его афтершоки, произошедшие по готовым разрывам, — к "вялым". Другой причиной равного r_0 для событий разного энергетического уровня может быть отмеченная выше слабая зависимость угловой частоты от энергетического класса.

Макросейсмическое обследование второго ощутимого землетрясения (30 июля) не проводилось. Имеются только сведения об ощущенности в отдельных пунктах: на железнодорожных станциях Гостагаевская и Варениковская — 4 балла, в г. Аяна — 2–3 балла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грошников В.Н., Пустовитенко А.И., Сендлова В.А. Землетрясения Крыма и Нижней Кубани. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1980 г. М.: Наука, 1983, с. 16–19.
2. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона. — В кн.: Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР, 1974, ч. II, с. 113–125.
3. Аронвич З.И., Дубинский И.Б., Пустовитенко Б.Г. Об эффективности чувствительности землетрясений в Крыму и методах ее повышения. — В кн.: Детальное сейсмическое районирование. М.: Наука, 1980, с. 108–111.
4. Кульчицкий В.Е., Пустовитенко Б.Г., Дубинский И.Б. К методике обработки Крымско-Черноморских землетрясений. — В кн.: Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН (Крым-Карпаты) за 1975–1976 гг. Киев: Наук. думка, 1982, с. 125–141.
5. Пустовитенко Б.Г. Определение энергии землетрясений Крыма по длительности колебаний. — В кн.: Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН (Крым-Карпаты) за 1970–1974 гг. Киев: Наук. думка, 1980, с. 34–39.
6. Пустовитенко Б.Г., Раутиан Т.Г. Использование сейсмической коды для определения магнитуд и энергетических классов землетрясений по наблюдениям в Крыму. — В кн.: Интерпретация сейсмических наблюдений. М.: Наука, 1983, с. 81–87.
7. Пустовитенко А.И., Пустовитенко Б.Г., Сиртус В.Б. Расчет амплитудных и энергетических спектров землетрясений Крыма экспресс-методом. — В кн.: Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН (Крым-Карпаты) за 1977 г. Киев: Наук. думка, 1983, с. 94–99.
8. Пустовитенко Б.Г., Попельева Т.А. Динамические параметры очагов землетрясений Крыма. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1982 г. М.: Наука, 1985, с. 98–104.
9. Пустовитенко Б.Г., Филиппенко Л.И. Спектры и динамические характеристики очагов землетрясений Крыма за 1980 г. — В кн.: Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым-Карпаты) за 1980 г. Киев: Наук. думка, 1984, с. 87–94.
10. Шебалин Н.В. Об оценке сейсмической интенсивности. — В кн.: Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975, с. 87–109.
11. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974, с. 53.