

## V Сочинский рой землетрясений 1969—1971 гг.

На карте сейсмического районирования [1] побережье Черного моря в районе Большого Сочи отнесено к зоне VII балла. В [2] все Черноморское побережье Кавказа отнесено к 8-балльной зоне. За последние 100 лет в районе г. Сочи семибалльные землетрясения происходили трижды: в 1870 г. [3—5], в 1955 г. [6—8] и 4.XII в 1970 г.

Процесс в рое 1969—1971 гг. развивался очень медленно. Первые толчки ( $K=5-7$ ) были отмечены в июле 1969 г. Данные о последующих толчках приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Список землетрясений Сочинского роя с  $K \geq 9$  (по данным станции Сочи)

Дата	Время, P, ч, м, с.	S—P	$\Delta$ , км	H, км	M	AS	Ap	K	$I_0^*$ балл
9.IV	05 55 50	1,7	40	7	3,0	49	3	10	4—5
28.IV	05 57 47	1,7	10			20	0,8	9	
20.V	44 23 26	4,0	25		$3\frac{1}{4}$	12	1,0	10	
24.V	09 46 00	3,0	47			8	0,8	9	
2.VII	43 22 49	3,0	47			8	0,9	9	
24.VII	42 45 36	2,5	14			45	0,9	9	
7.XI	49 58 25	4,0	25			9	1,0	11	6
	49 45 07	5,6	33		$3\frac{1}{4}$	9	1,3	9	
4.XII	49 21 10	5,5	33			2,8		9	7,5
	01 59 33	4,0	25		$4\frac{1}{4}$	380	64	13	
	02 07 03	4,5	28			2,5	0,2	9	
	02 40 38	4,0	25			3,4	0,2	9	
	02 37 41	4,0	25			3,0	0,1	9	
	02 38 59	4,0	25			3,1	0,1	9	
	03 21 45	4,0	25			3,2	0,2	9	
	03 45 39	4,0	25			2,8	0,2	9	
	04 28 06	4,5	28			2,9	0,2	9	
	05 44 37	4,0	25			2,2	0,2	9	
	05 50 23	5,0	32			5,0	0,3	10	
	08 45 53	4,0	25		$3\frac{1}{4}$	2,5	0,2	9	
5.XII	40 20 21	4,0	25			2,5	0,1	9	
6.XII	01 54 08	4,5	28		$3\frac{1}{4}$	2,5	0,1	9	
24.XII	01 21 53	4,0	25			2,4	0,1	9	
24.XII	49 13 48	4,0	25			6,0	0,1	9	
29.XII	22 37 42	4,0	25		$3\frac{1}{2}$	20	1,0	10	
30.XII	40 43 43	3,5	21			3,5	0,1	9	
	06 15 46	4,0	25			7,0	0,1	9	
	45 04 44	3,0	17					9	
7.I	19 03 30	5,0	32	1971 г.		1,5	1,0	9	3
26.I	22 48 36	3,5	21			60	17	12	4—5
27.I	22 51 15	5	32			2,9	0,1	9	
15.II	45 56 14	5	32			3,5	0,1	10	
4.III	23 20 45	5	32		$3\frac{1}{4}$	4,9	0,4	10	
	23 22 47	3,5	21			4,7	0,1	9	3

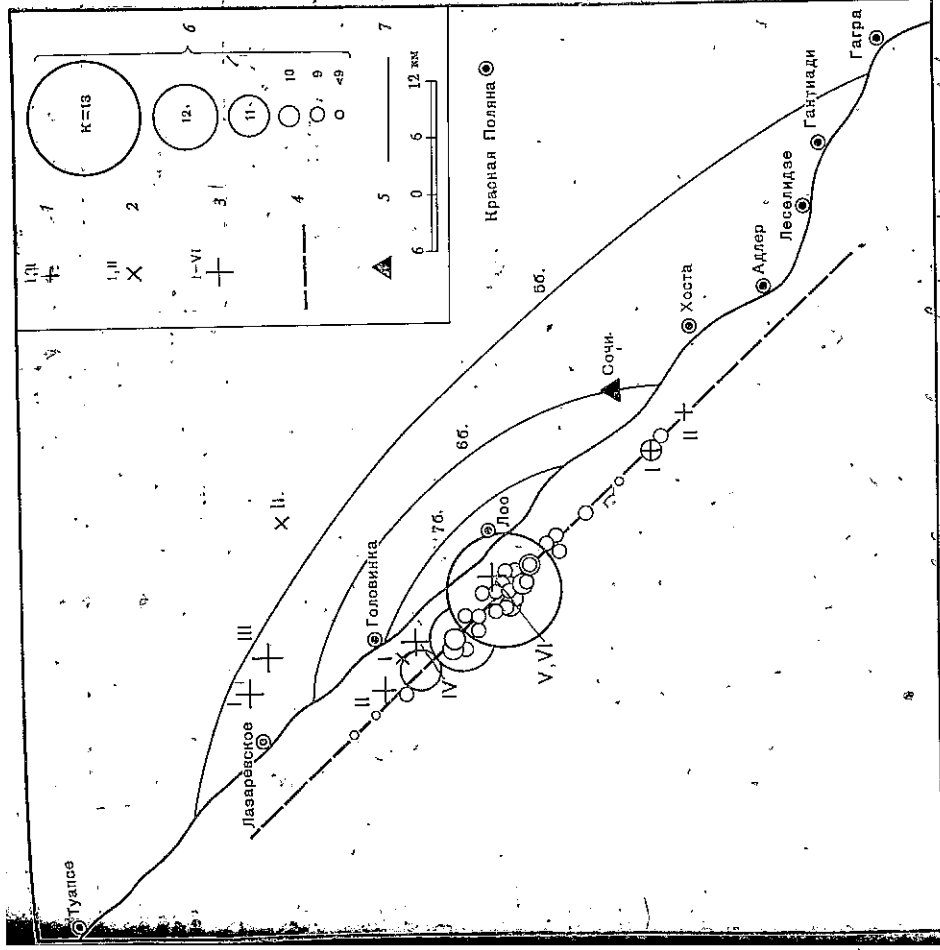


Рис. 1. Эпицентры толчков Сочинского роя землетрясений 1969—1971 гг.  
*Epicentres aftershocks of Sochi earthquake, 1969—1971*

1 — эпицентр толчка 9.IV 1970 г.; I — по данным станции Сочи (совпадает с макросейсмическими данными); II — по данным кавказской региональной сети (с учетом данных станции Сочи); 2 — эпицентр толчка 7.XI 1970 г.; I — по данным станции Сочи (совпадает с макросейсмическими данными); II — по данным кавказской региональной сети (близкая к истинному эпицентру из двух областей засечек по S—P); 3 — эпицентр основного толчка 4.XII 1970 г., варианты I—VI, (см. текст, табл. 2); 4 — предполагаемая ось фокальной зоны; 5 — сейсмическая станция; 6 — энергия землетрясения; 7 — изосейсты высших баллов

Координаты эпицентра основного толчка 4.XII 1970 г. были определены на основе данных 58 опорных станций ЕССН по стандартной программе, а также с учетом стационных поправок, вычисленных Н. В. Вандышевой для зоны Дагестанского землетрясения 1970 г. и для зоны толчков Чхагинского землетрясения (табл. 2, рис. 1).

Глубина гипоцентра определена на основании макросейсмических и инструментальных данных [9].

Анализ расположения эпицентров в сочетании с приведенными ниже макросейсмическими данными позволяет предположить, что все (или, по крайней мере, все основные) толчки Сочинского роя представляют собой частичные подвижки крыльев разлома, постепенно вспарывавшегося по мере развития роя.

Близкое к линейному расположение толчков позволяет провести анализ, заполнена ли очагами вся зона между крайними очагами или же там существует «непроработанный» участок, где в любой момент возможно возникновение нового сильного землетрясения.

Таблица 2

Определение координат эпицентра основного толчка 4.XII 1970 г.

Вариант	Число станций		Момент возникнове- ния, ч. м. с.	φ° N	λ° E	И, км	Невязка станции Сочи, сек.
	всего	в том числе кавказ- ские					
I. Стандартный годограф без поправок	58	7	01 59 24,7	43,92	39,38	0	+0,8
II. Стандартный годограф с «дагестанскими» поправками	54	7	01 59 25,5	43,79	39,38	4,3	+0,4
III. Стандартный годограф с «дагестанскими» поправками	61	14	01 59 24,7	43,90	39,44	0	+1,6
IV. Стандартный годограф с «чхалтинскими» поправками	61	12	01 59 25,9	43,77	39,45	9,0	-0,04
V. Станция Сочи по Δ и азимуту	1	1	—	43,69	39,50	(10)	—
VI. Макросейсмические дан- ные	—	—	—	43,7	39,5	12	—

В качестве первой оценки было использовано среднее соотношение между длиной очага (разрыва) и магнитудой [10]; на основании расчетов получено, что оставался непроработанным участок длиной 12—15 км. При срабатывании очага такой длины в соответствии с указанным соотношением возникло бы землетрясение с магнитудой около  $5\frac{1}{2}$ — $5\frac{3}{4}$ . Для анализа было использовано также просторанственное распределение собственных афтершоков указанных сильных толчков роя. При этом считалось, что область возникновения ближайших по времени афтершоков совпадает с очагом основного толчка.

Гистограммы просторанственного распределения эпицентров афтершоков приведены на рис. 2. Отчетливо видно, что этапы концентрированного в просторанстве выделения энергии чередуются с этапами достаточно рассеянного выделения. Размеры (протяженность) областей афтершоков заметно (примерно в 4—6 раз) превышают оценки по средней зависимости [10], однако не выходят за пределы оценок размеров очагов «вялых» землетрясений, обнаруженных Бруном и Алленом [11]. В табл. 3 для Сочиского роя приведены средние оценки протяженности очага и величины суммарной деформации вдоль шва ( $\sim E^{\frac{1}{2}}$ ).

Таблица 3

Размеры очагов и условных деформаций толчков Сочиского роя

I, км	K							
	13	12	11	10	9	8	7	6
I, км	30	15	7,5	4	2	1	1	1
$E^{\frac{1}{2}}$ , $\text{длж}^{\frac{1}{2}} \times 10^4$	300	100	30	10	3	1	1	1

Последовательность наращивания условных деформаций и сглаженная огибающая представлены на рис. 3а.

Развитие событий роя во времени и просторанстве представлено на рис. 3б. Каждый толчок изображен здесь линией протяженностью,

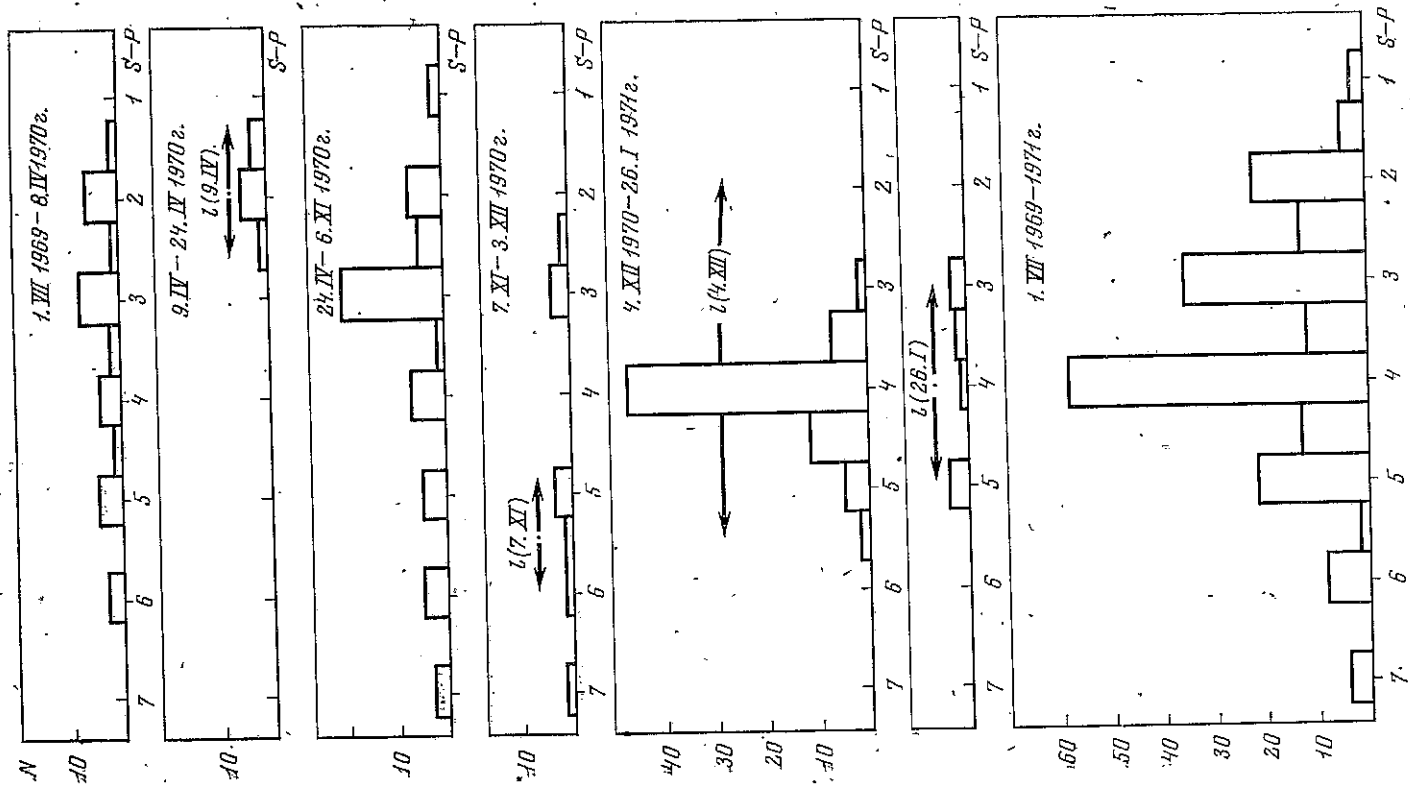


Рис. 2. Распределение повторных толчков Сочиского роя вдоль оси разрыва. На рис. 2—4 отчет расстояний идет вверх от проекции на ось разрыва станции Сочи (см. рис. 1)

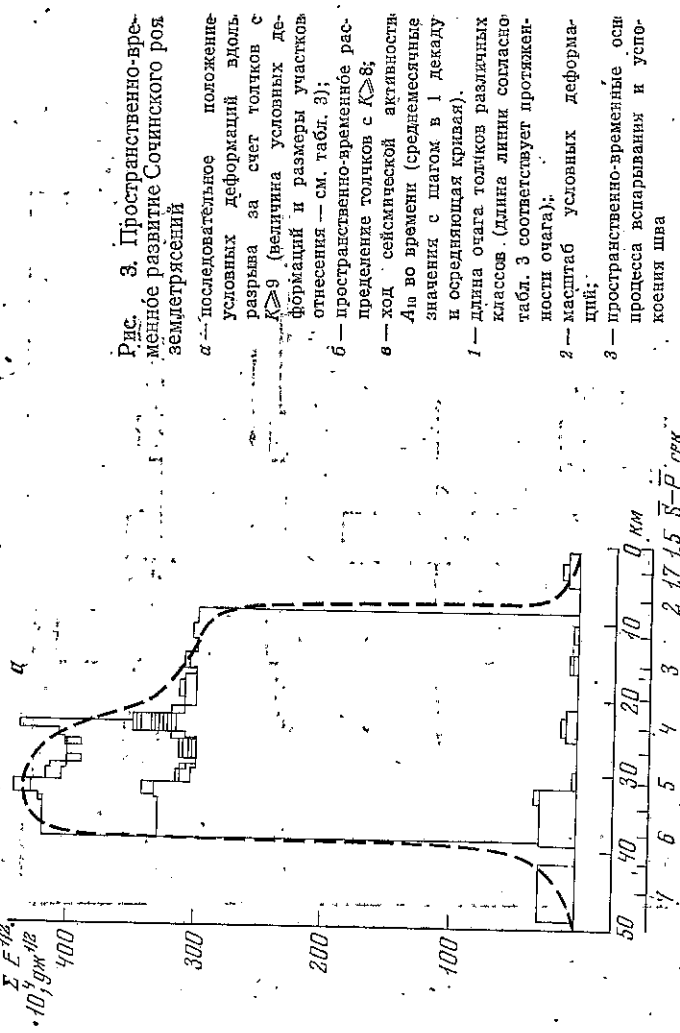
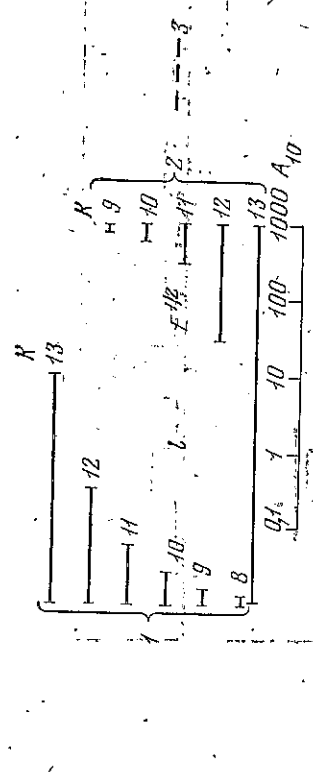


Рис. 3. Пространственно-временное развитие Сочинского роя землетрясений  
 а — последовательное положение условных деформаций вдоль разрыва за счет толчков с  $K \geq 9$  (величина условных деформаций и размеры участков отнесены — см. табл. 3);  
 б — пространственно-временное распределение толчков с  $K \geq 8$ ; в — ход сейсмической активности. А<sub>10</sub> во времени (среднемесячные значения с шагом в 1 декаду и осредняющая кривая). 1 — длина очага толчков различных классов (длина линии согласно табл. 3 соответствует протяженности очага); 2 — масштаб условных деформаций; 3 — пространственно-временные оси процесса вспарывания и устойчивости шва

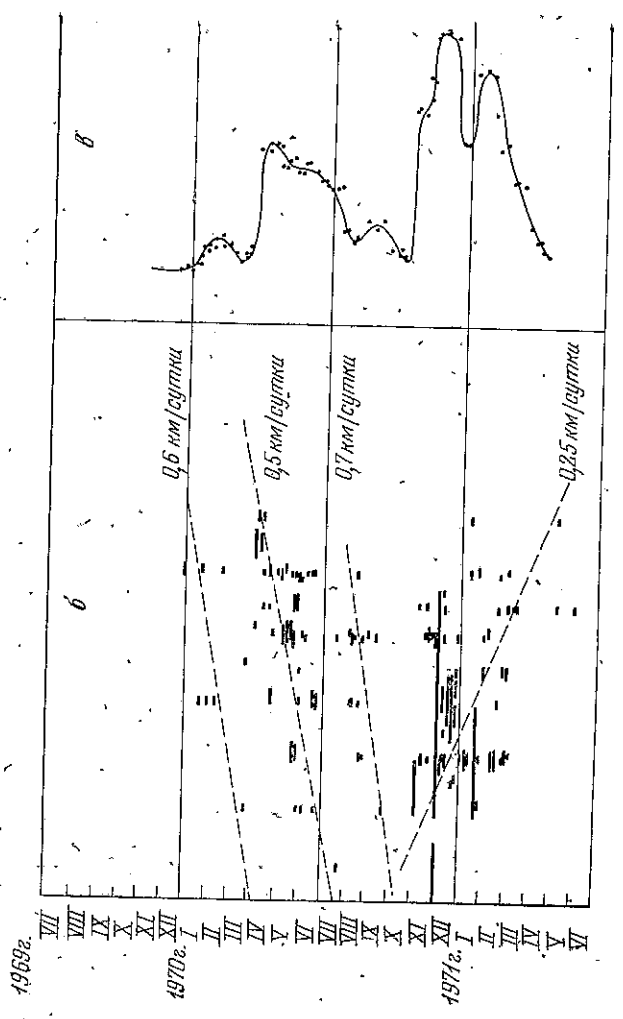


Рис. 4. Схематический вертикальный разрез через очаговую зону  
 Размеры кружков и овалов пропорциональны размерам очагов

Можно сделать вывод о том, что вследствие сравнительно малой прочности шва в Сочинском рое землетрясений очаги имеют аномально большую протяженность, так что в результате землетрясений 9.IV, 7.XI и 4.XII подвижки в их очагах практически слились и на разрыве не осталось сколько-нибудь значительного переработавшегося участка (рис. 4). Таким образом, заключение о возможном в ближайшее время сильнейшем землетрясении Сочинского роя надо считать ошибочным. По-видимому, развитие Сочинского роя на данном этапе завершено, и в его очаговой зоне значительные ( $M > 5, 7$  баллов) толчки в течение ближайших десятилетий возникать не будут.

Толчки Сочинского роя сопровождалась рядом интересных явлений: на записях станций Сочи зарегистрирована длиннопериодная волна (рис. 5). Во время прохождения этой волны наблюдалось остаточное смещение, вертикальная составляющая которого составила при землетрясении 4.XII около 10 см (при  $\Delta = 25$  км,  $D_0 = 27$  км). На расстоянии примерно  $\Delta = 7$  км ( $D = 12$  км) в Лoo во время землетрясения отмечено вертикальное смещение, равное 45 см. Эти цифры соответствуют примерно квадратичному закону затухания амплитуды остаточной деформации (точнее,  $n = 1,85$ ). Для перехода к смещению по разрыву  $D_0$  воспользуемся формулой для ближней зоны  $D = 2D_0 / \lambda \text{ arcsctg } \alpha \Delta$ ; принимая  $\alpha = 0,2 \text{ км}^{-1}$ ,  $D = 0,45$  м, получим  $D_0 = 1,2$  м.

Толчок 7.XI ощущался с наибольшей силой 6 баллов в пос. Головинка (7 км), где отмечено серьезное повреждение линии водопровода, во многих домах возникли трещины в штукатурке. В Сочи (30 км) интенсивность оценивается в 4—5 баллов, в Туапсе (45 км) и Адлере (55 км) 3—4 балла.

В эпицентральной зоне землетрясения 4.XII отмечены макросейсмические остаточные явления двух видов. Первый — это обычные оползни, наблюдавшиеся в зоне наибольшей интенсивности — в районе Лoo. Наиболее значительный оползень произошел вблизи от берега, в результате чего сильно пострадала чайная плантация, смещена на 15—20 м до рога (рис. 6). Второе явление — общее значительное смещение береговой части и морского дна. Берег моря в районе Лoo поднялся на 45 см, что

равной протяженности очага в масштабе рисунка. Он показывает, что до возникновения главного толчка с энергией  $10^{13}$  Дж вдоль всей очаговой зоны, начиная с 1970 г., прошли три волны вспарывания, распространявшиеся с юго-востока на северо-запад. Во время толчков первой волны суммарная энергия толчков составила около  $10^8$  Дж, во время второй —  $2 \cdot 10^{10}$  Дж, третьей — была еще более мощной — в ней выделилось всего около  $1,5 \cdot 10^8$  Дж. В основной фазе направленные вспарывания и последующего замирания процесса было обратным, с северо-запада на юго-восток. На рис. 3в изображен временной ход сейсмической активности — свертка площади эпицентральной зоны ( $500 \text{ км}^2$ ) для месячных интервалов с перекрытием и шагом в одну декаду.

размерами примерно  $10 \times 2$  см, состоящие как бы из пылеобразной сухой светящейся массы, которая при растирании ее ладошкой деформируется, а затем принимала прежнюю форму. По другим сообщениям, после толчка поверхность земли была покрыта тонким слоем типа дупла или изморози, вскоре исчезающим. В воздухе пахло серой.

В прочих пунктах толчок 4.XII характеризуется следующими явлениями (рис. 7).

Пос. Лоо (8 км от центра эпицентральной зоны): в некоторых домах типа В (деревянные каркасные дома на бетонном фундаменте) повреждена 2-й степени, в отдельных зданиях типа Б — повреждения 3-й степени, во многих — 2-й степени; трубы и предметы падали в сторону тор — с юго-запада на северо-восток. 7 баллов. Грунт — в основном сухая глина.

Пос. Вардане: в отдельных домах типа В повреждения 2-й степени, отмечены падения кирпичных груб. Гул, световые эффекты (см. выше). Грунт — глина, 7 баллов.

Пос. Дагомыс: в отдельных зданиях типа В (бетонные и деревянные каркасные дома на бетонном фундаменте) — повреждения 2-й степени, в отдельных домах типа Б — повреждения 3-й степени, во многих — 2 и 3-й степени. Повреждены механизмы подстанции (синхронный компрессор, масляные выключатели), оборван ввод 220 квт. В панельных домах (тип Б) потрескались перегородки ( $d=2$ ). Сильный гул (рев). 7 баллов.

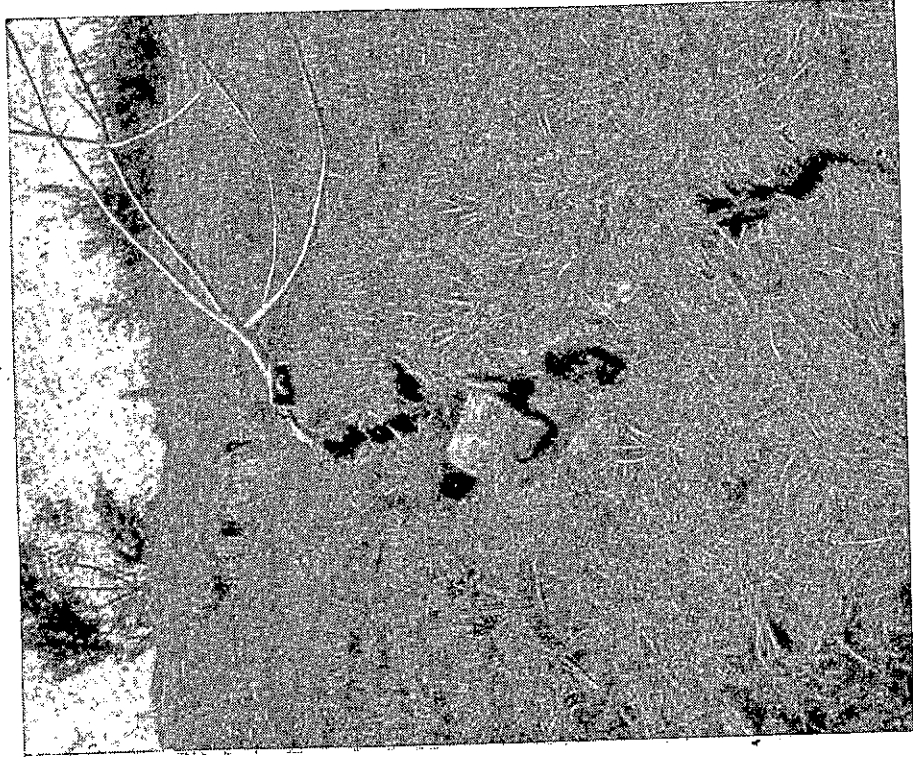


Рис. 6. Оплозень в пос. Вардане

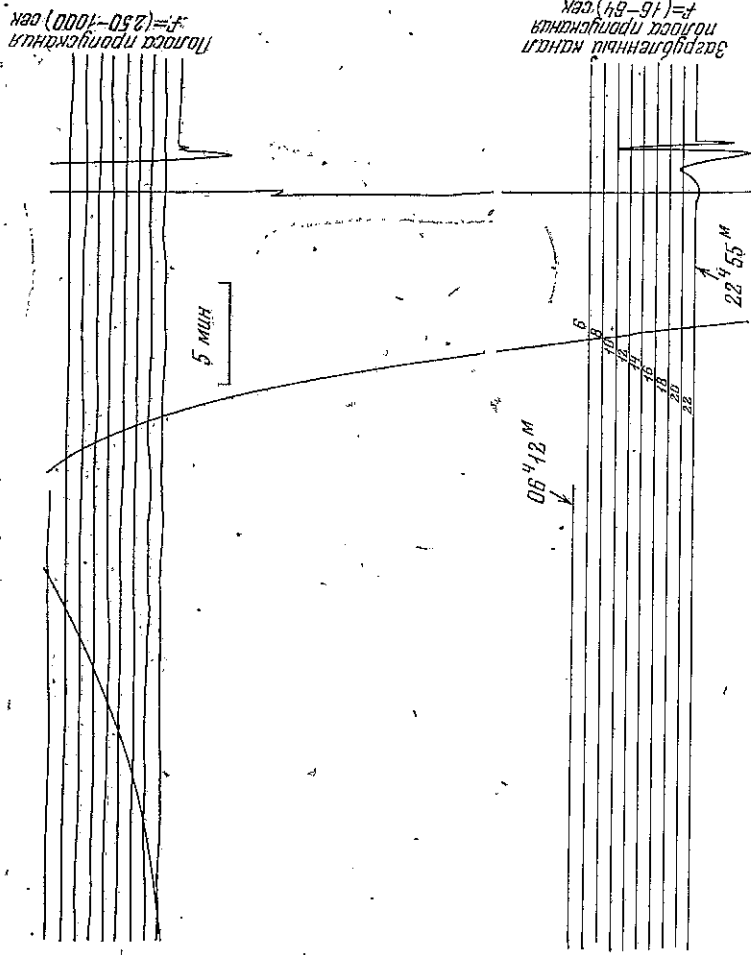


Рис. 5. Запись волны  $L_1$ , станция Сочи, приборы ПСС, составляющая Z,  $\Delta=25$  км. -остаточное смещение около 10 см

хорошо заметно по сваям причала в Лоо и отходу крошки воды в пос. Вардане на 5—7 м. Рыбаки после землетрясения указывали, что на траверсе пос. Вардане в 3—4 км от берега дно моря поднялось на 10 м (на катушках донных снастей фиксированной длины при опускании труза до дна оставалось 10 м снасти). Некоторые рыбаки утверждали, что на дне моря можно заметить как бы ступеньку — область быстрого изменения глубины (сообщение А. Г. Баклана).

Сильные деформации морского дна вызывали цунами. С 5 ч. 20 м. до 9 ч. 10 м. самонаписцы записали волны цунами с периодами 12—28 мин. Цунами началось с резкого понижения уровня в 5 ч. 20 м. (скорость волны около 3 км/мин). Максимальный подъем наблюдался в 6 ч. 05 м. — на 34 см, максимальное опускание уровня в 6 ч. 10 м. — на 45 см (сообщение С. П. Александрова).

Землетрясение произошло в 5 ч. утра по местному времени, почти в полной темноте. В пос. Вардане И. Шнуропатов непосредственно перед толчком заметил яркую вспышку, подобную очень большой вспышке при электросварке. Вспышки повторились несколько раз с меньшей силой и после каждой вспышки ощущался толчок. После затухания толчков осталось большое зарево, наблюдавшееся на северо-западе от пос. Вардане в течение некоторого времени. М. П. Кривошеева в пос. Вардане также заметила зарево, по интенсивности похожее на солнечный свет и распространявшееся с юга на север. А. Шматенко, находившийся на берегу в пос. Вардане, заметил фосфоресцирующее свечение моря и множество светящихся точек на пляже. Явление сопровождалось шестестом гальки.

В Вардане жители, выскочив в момент толчка на улицу, заметили на сухом грунте, а также на асфальтовом шоссе светящиеся образования

Затухание балльности в районе Сочи

Балльность	Расстояние от эпицентра очага, км	
	вдоль структур	вкрест структур
7	(10)	12
6	20	15
5	45	20
4	95	35
3	(160)	60

Среднее  $v_1=3,4$  Среднее  $v_2=8$

Используя локальные значения коэффициента  $\nu$ , можно оценить длину очага также и для двух других толчков, по которым имеются максимум сейсмические данные. Оценка дает для толчка 9.IV  $h_1=5-10$  км. (считая  $I_0=4^{1/2}$ ,  $\nu=5$  в промежуточном направлении эпицентра Хоста), для толчка 7.XI  $h_1=7$  км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейсмическое районирование СССР. М., «Наука», 1968.
2. И. В. Афанасьев, В. И. Бунд и др. Методика составления карты сейсмического районирования на примере Кавказа. М., 1969.
3. И. В. Мушкетов. Материалы для изучения землетрясений России, ч. I.—Изв. РГО, 1891, № 27 (приложение).
4. И. Н. Ярославцев. Сейсмическая деятельность на Кубани с 1794 по 1927 гг.—Труды Кубанского с.-х. ин-та, вып. 7, Краснодар, 1929.
5. И. В. Афанасьев. Северный Кавказ.—В кн. «Сейсмическое районирование СССР», ч. 2, т. 7. М., «Наука», 1968.
6. Ш. А. Джабуа, А. З. Кац, А. Н. Сафарян, А. Д. Цикава, А. Н. Чуррава. Краснополянское землетрясение 21—27 декабря 1955 г. и его последствия.—Бюлл. Совета по сейсмологии, 1958, № 5.
7. Д. Н. Руставели. Предварительные результаты изучения сейсмичности зоны Краснодарского землетрясения.—Бюлл. Совета по сейсмологии, 1958, № 5.
8. Д. Н. Руставели. Эпизентральная зона Краснодарских землетрясений.—Труды ИФЗ АН СССР, 1960, № 10 (177).
9. Н. В. Шабалин. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании.—В кн. «Сейсмическое районирование СССР», ч. 1, т. 6. М., «Наука», 1968.
10. Н. В. Шабалин. Замечания о преобладающих периодах, спектре и очаге сильного землетрясения.—В сб. «Вопросы инженерной сейсмологии», вып. 14. М., «Наука», 1971.
11. J. Brune, S. Allen. A low-stress-drop, low-magnitude earthquake with surface faulting: the Imperial, California, earthquake of March 4, 1966.—Bull. Seism. Soc. Am., 1967, v. 57, No. 2.

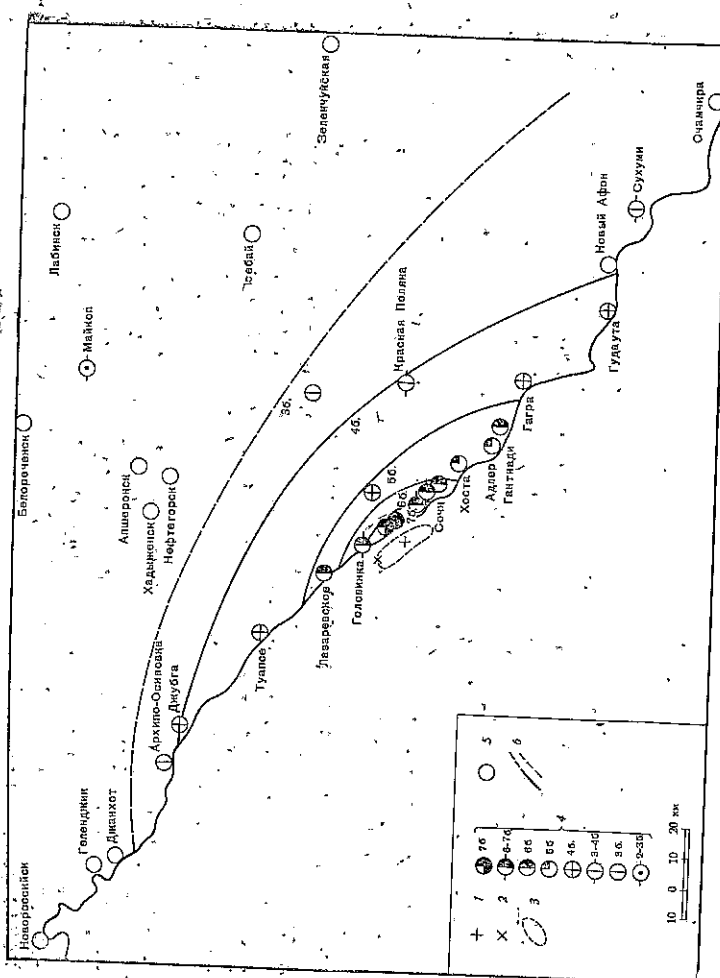


Рис. 7. Изосейсты основного толчка 4.XII.1970 г. Сочи.  $M=5,2$ ;  $K=13$ ,  $h=10$  км. 1 — эпицентр по инструментальным данным БСН; 2 — эпицентр по инструментальным данным станции Сочи; 3 — эпицентральная зона по макросейсмическим данным; 4 — балльность; 5 — не ощущалось; 6 — изосейсты.

Пос. Головинка: во многих зданиях вылетели стекла, в отдельных зданиях повреждения 2—3-й степени. 6—7 баллов. Сочи: повреждения распределяются неравномерно. В отдельных районах, главным образом на северо-западной окраине города, повреждения особенно заметны: в отдельных зданиях типа Б упали трубы, глубокие трещины в стенах (крупнопанельные дома), в некоторых зданиях — повреждения 2-й степени. В единичных зданиях типа В — повреждения 2-й степени. Здесь интенсивность достигала 6—7, в отдельных участках — 7 баллов. На остальной территории города балльность варьировала от 5 до 6. Большинство людей ощущало толчок с юго-запада на северо-восток, но в отдельных местах отмечены вертикальные толчки и горизонтальные «круговые» толчки.

Землетрясение ощущалось с силой 6 баллов — в пос. Мамайка; с силой 5 баллов — в районе Бытха, в Лазаревской ( $\Delta=30$  км), Хобзе (30), Адлере (45), Гангиади (55); 4 балла — в Солох-ауле (24), Гуапсе (55), Гагре (70), Гулдауте (105), Джубге (105); 3—4 балла — в Красной Поляне (55), Сухуми (135), Цебельде (170); 2—3 балла — в Майкопе (120) и Гегечкори (280). Не ощущалось в Гузерипле (60), Нефтегорске (80), Новом Афоне (90), Апшеронске и Халдыженске (90), Нефтегорске Архипо-Осиповке (105), Геленджике (140), Очамчире (180).

Хорошо заметная вытянутость изосейст вызвана как большой протяженностью очага, так и неравномерностью затухания вдоль и поперек структур Главного Кавказского хребта (табл. 4). Экстраполируя эти данные, для эпицентра получим ориентировочно  $I_0=7^{1/2}$  баллов. Глубина очага по измерениям вдоль структур равна 9 км, вкрест структур — 14 км. Горизонтальная протяженность очага — около 25 км.