

Гармекое землетрясение 22 марта 1969 г.

Землетрясение, происшедшее 22 марта в 04 ч. 52 м. 34 с. на границе районов Северного Памира и Южного Тянь-Шаня, в отрогах хребта Петра Первого, было одним из сильнейших в Средней Азии в 1969 г. Координаты эпицентра, определенные по данным Гармекской сети станций: $\varphi = 38^{\circ}38'N$ и $\lambda = 70^{\circ}33'E$, глубина 10—15 км и $K = 14$ ($M = 5,5$). По данным Т. А. Киняшовой и В. К. Иодко, его эпицентр (в Гарме ($\Delta = 21$ км) достигала 4—5 баллов, в Джиргатале (45 км) — 4, в Обгарме (80 км) — 3—4, на расстоянии 120—170 км, в Душанбе, Нуруке, Восе и Кулябе — 3 баллов и, наконец, в Самарканде (350 км) — 2 балла. По данным сотрудииков сейсмических станций, интенсивность составляла на сейсмической станции 2 ($\Delta \approx 20$ км) — более 5 баллов, станции 3 (27 км) — около 5 баллов, станции 4 (36 км) — 4—5 баллов.

Землетрясению 22 марта предшествовало 10 форшоков с $K > 9$, зарегистрированных с начала года. Повторные толчки этого землетрясения отмечались до конца 1969 г., всего их было около 50 с $K = 9—11$ и одно (14 ноября 1969 г.) с $K = 12$.

По знакам первых смещений P - и S -волн был определен механизм очага землетрясения по методике А. В. Введенской [1] (рис. 1, 2). Получены следующие данные. Для плоскости I: $Az = 100^{\circ}$, $\alpha = 25^{\circ}$ к северу, компоненты подвижки: по простиранию — 0,5, по падению — 0,87; для плоскости II соответственно 135° , 70° к юго-западу, 0,26 и 0,96; направление сжатия: $Az = 245^{\circ}$, $e = 65^{\circ}$; промежуточное напряжение: $Az = 130^{\circ}$, $e = 10^{\circ}$; напряжение растяжения: $Az = 35^{\circ}$, $e = 25^{\circ}$.

Движение в плоскости разрыва имеет большую составляющую по падению плоскости. Верхнее крыло смещается при этом вниз, следовательно, подвижка в очаге имеет тип сброса.

Землетрясение 22 марта произошло в условиях напряженного состояния и разрушительных землетрясений, установленных на сейсмических станциях КСЭ (см. рис. 1). В качестве регистрирующей аппаратуры использовались осциллографы ИСО-2 и Н-700, работающие в ждущем режиме [4]. Потеря первой части записи за счет инерции лентопротяжного механизма составляла у ИСО-2 около 0,2 сек., у Н-700 0,5—0,6 сек. Сейсмический канал для записи колебательной скорости состоял из датчиков С5С и высокочастотных гальванометров ГВ-IV. Периоды и затухания сейсмографа и гальванометра имели значения: $T_1 = 5$ сек., $D_1 \approx 0,7$; $T_2 = 0,008—0,01$ сек., $D_2 \approx 0,7$ (рис. 3). В целях расширения динамического диапазона регистрации на каждой станции проводилась на двух уровнях увеличения для ИСО-2 увеличения по скорости были $V_1 = 4,6$ [сек.] и $V_2 = 0,12$ [сек.], для Н-700 — 8,0 и 0,5 [сек.].

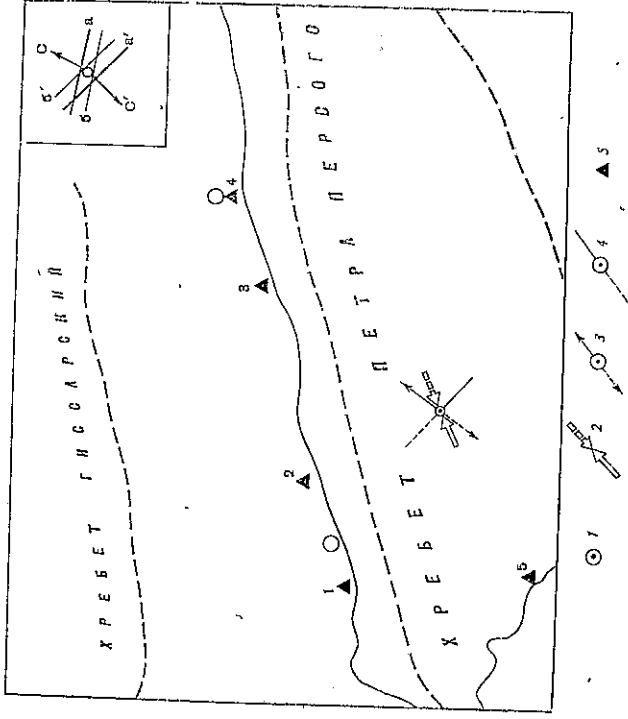


Рис. 1. Схема расположения сейсмических станций и ориентации осей главных напряжений и двух равнонаправленных плоскостей разрыва (врезка)

1 — эпицентр; 2 — ось сжатия; 3 — ось растяжения; 4 — ось промежуточных напряжений; 5 — сейсмические станции. a, a' — висячее крыло плоскости разрыва; b, b' — лежащее крыло плоскости разрыва; c, c' — положение вектора подвижки в плоскости разрыва

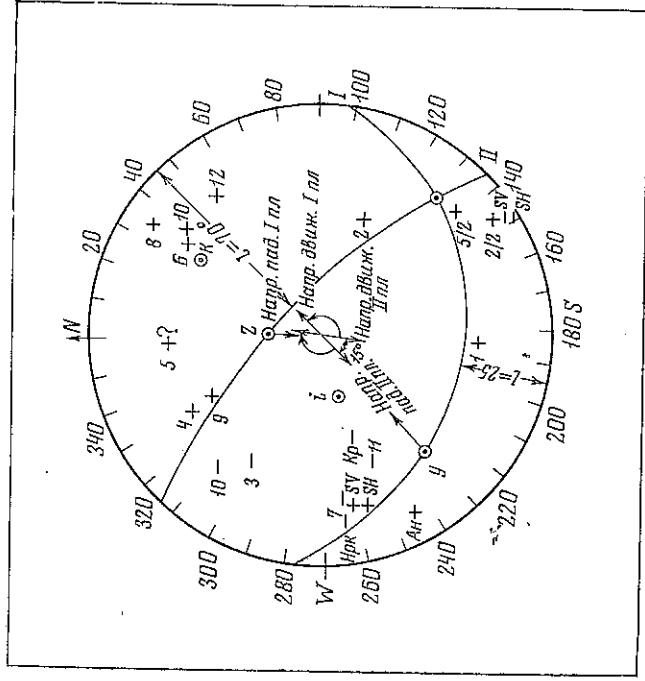


Рис. 2. Построение на сетке Вульфа для землетрясения 22 марта 1969 г.

На станциях 3 и 4 сейсмографы были установлены на поверхности скальных изверженных гранитоидов. На станции 2 гранитоиды сверху прикрыты маломощным (менее 2 м) слоем щебенки изверженных пород. На рис. 4 приведены копии велосиграмм землетрясения 22 марта 1969 г. Заметно сходство их общего вида. В записи преобладают низкочастотные

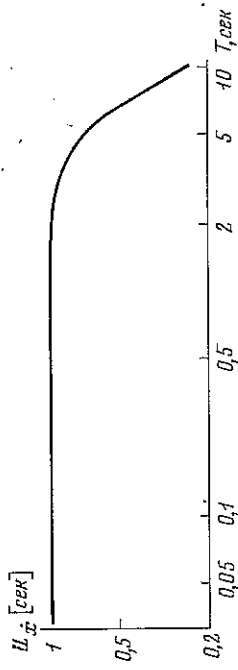


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика регистрирующих каналов

колебания ($T \geq 1,0$ сек.). Землетрясения подобного типа представляют серьезную опасность для гибких сооружений с большим периодом собственных колебаний и малым декрементом затухания. На записях станций 2 и 3 главная, наиболее интенсивная фаза колебаний имеет длительность 10—12 сек. На записи более удаленной ($\Delta = 37$ км) станции 4 главная фаза имеет большую длительность, порядка 17—18 сек. На станции 2 по прошествии 19 сек., а на станции 3 и 4 соответственно 33 и 38 сек. Интенсивность колебаний уменьшается в 6 раз по сравнению с максимальной, равной соответственно: $A_{2(z)} = 6,8$ мм/сек, $A_{3(в-в)} = 3,2$ мм/сек, $A_{3(z)} = 2,6$ мм/сек, $A_{4(z)} = 1,3$ мм/сек.

Подобие общего вида записи, особенно в начальной ее части, для станций, расположенных на различном расстоянии от очага, указывает в данном случае на преобладающую роль очага-излучателя в формировании колебаний. Полученные велосиграммы были подвергнуты частотно-временному анализу на ЭВМ по программе «СВАН» [5, 6, 7].

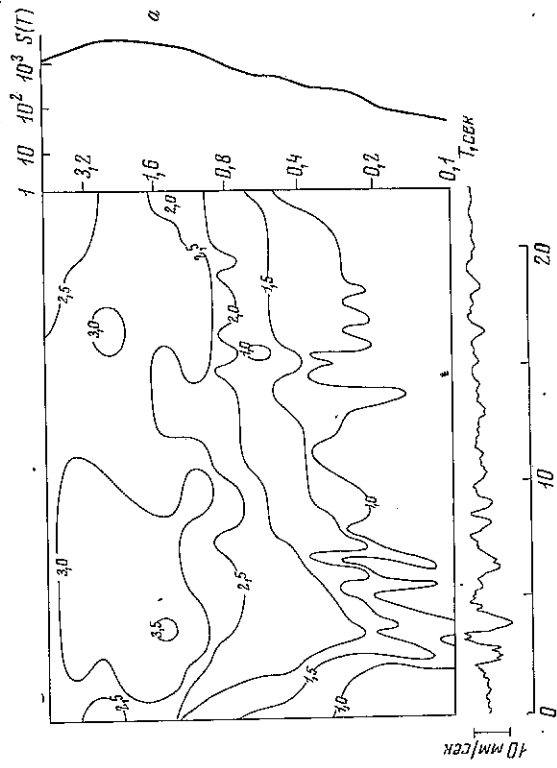


Рис. 4. Частотно-временные диаграммы, велосиграммы (внизу) и фильтр-спектры (справа) землетрясения 22 марта 1969 г., зарегистрированного на различных сейсмических станциях.

a — станция 2, компонента восток — запад; б — станция 3, компонента восток — запад; в — станция 3, компонента Z; г — станция 4, компонента восток — запад

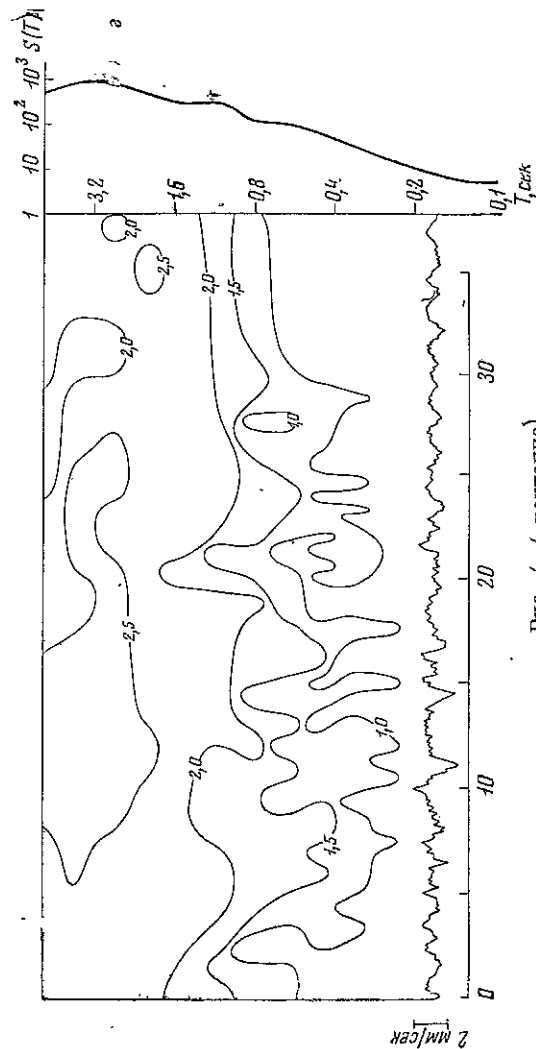
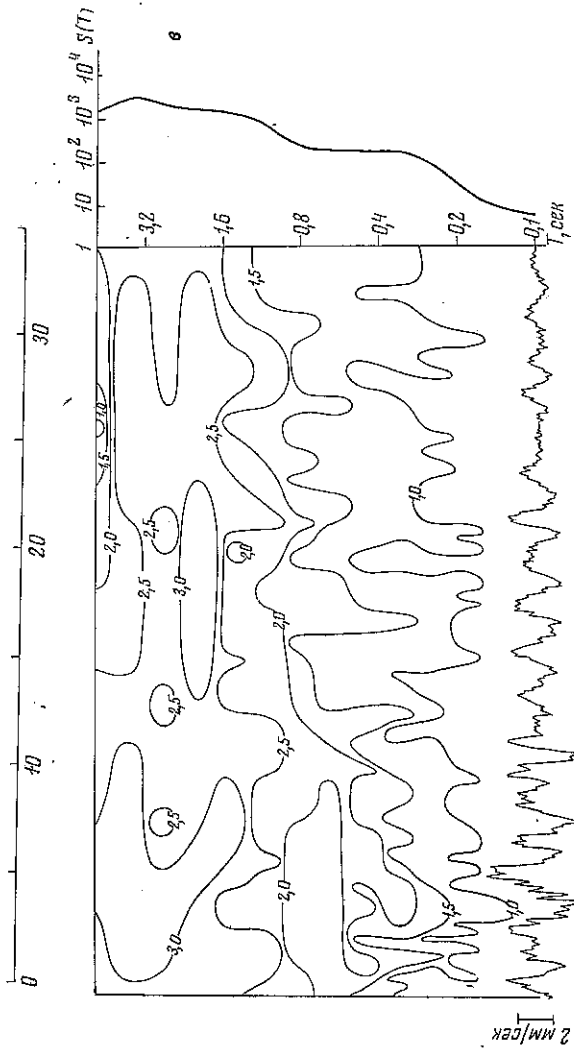
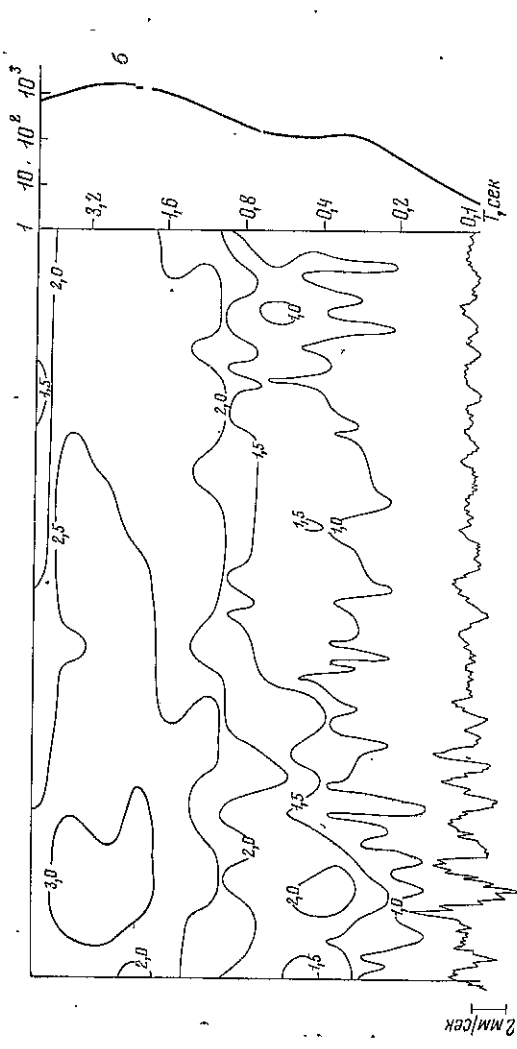


Рис. 4 (окончание)

Спектрально-временной анализ осуществился посредством фильтрации записи через систему фильтров с одинаковой относительной шириной $\Delta\omega/\omega$, частотные $\Phi(\omega)$ и временные $f(t)$ характеристики которых имеют вид [6]

$$\Phi(\omega) = \exp \left\{ -\alpha \left(\frac{\omega - \omega_i}{\omega_i} \right)^2 \right\},$$

$$f(t) = \frac{\omega_i}{\sqrt{2\alpha}} \exp \left(-\frac{t^2 \omega_i^2}{4\alpha} \right) \cos \omega_i t, \quad (1)$$

где ω_i — центральная частота фильтра, α — крутизна ветвей. Ширина фильтра $\Delta\omega$ и разрешающая способность во времени Δt выражаются через указанные параметры в виде

$$\Delta\omega = \omega \sqrt{\frac{2}{\alpha}}; \quad \Delta t = \frac{\sqrt{2\alpha}}{\omega}; \quad \Delta\omega \Delta t \geq c. \quad (2)$$

Анализ производился в диапазоне периодов от 0,1 до 5 сек., который был разбит на 14 фильтраций с шагом, равномерным по логарифму частоты.

Крутизна фильтра α была выбрана равной 20. При этом разрешенность во времени Δt равна двум периодам колебаний, а разделенность по частотам происходит с точностью $\pm 0,3\omega_i$, где ω_i — центральная частота фильтра.

На рис. 4 приведены частотно-временные диаграммы записей землетрясения 22 марта 1969 г. в форме изолиний логарифмов спектральных плотностей смещений. По вертикальной оси отложены периоды, по горизонтальной — время. На тех же рисунках смонтированы: вдоль оси времени — велоситграммы землетрясения, вдоль оси периодов — фильтр-спектры.

Основная энергия колебаний сосредоточена в начальной части записи в диапазоне периодов от 1,0 сек. и выше. Основные максимумы спектров лежат в области периодов 1,5–4 сек. Слабо меняется со временем длинная периодная ($T > 1$ сек.) часть спектра. При продвижении в короткопериодную область спектр усложняется вследствие нестационарности короткопериодных колебаний. При переходе от станции к станции сильнее меняется короткопериодная часть спектра. Подобие длиннопериодной части спектра колебаний на разных станциях указывает на главную роль очага-излучателя в формировании преобладающих, длиннопериодных ($T > 1$ сек.) колебаний, по-видимому, связанных с подвижкой по основному разрыву.

Линейные размеры очаговой области, вероятно, близки преобладающей длине сейсмической волны. При $T_{др} \approx 1,5-4$ сек. и $V_s = 3-3,2$ км/сек (по географу для осевой части хребта Петра I) размеры очага оказываются равными 4,5–13 км, что близко к результатам различных оценок размеров очагов гармских землетрясений [2, 8].

По данным спектрально-временного анализа (СВАН) были построены фильтр-спектры (аналоги ЧИСС-спектров), которые представляют собой отбрасывающую максимальных значений спектральных ординат [9] для центральных частот каждого из 14 фильтров. Следует заметить, что указанные кривые не являются, в буквальном смысле, ни спектром Фурье

$$S = \left| \int_0^t y(\tau) \sin \omega_i(t - \tau) d\tau \right|, \quad (3)$$

ни спектром реакции S_p [10]

$$S_p = \left| \frac{1}{\omega \sqrt{1 - \alpha^2}} \int_0^t y(\tau) e^{-\alpha \omega_i(t - \tau)} \sin \sqrt{1 - \alpha^2} \omega_i(t - \tau) d\tau \right| \max, \quad (4)$$

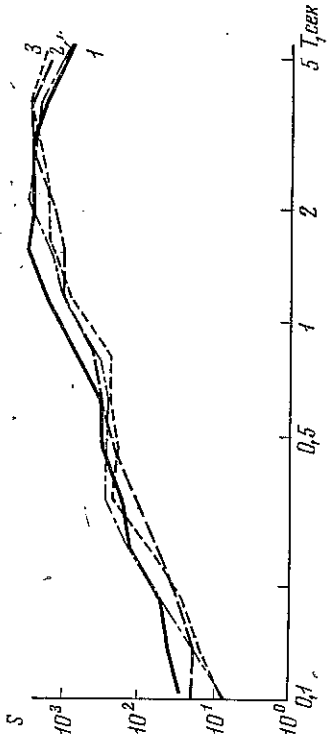


Рис. 5. Фильтр-спектры землетрясения 22 марта 1969 г., нормированные по ординате основного максимума

1 — сейсмическая станция 2, восток — запад; 2 — станция 4, Z; 3 — станция 3, Z; 4 — станция 3, восток — запад

так как временная характеристика (импульсная реакция) принятого в данном случае фильтра имеет более сложный вид, чем временная характеристика резонатора в случае спектра Фурье $g(t) = \sin \omega_i t$ или для случая спектра реакции $g_p(t) = e^{-\alpha t} \sin \omega_i t$. Однако общий вид фильтр-спектра, так же как и спектра реакции, близок к сглаженному спектру Фурье [9, 10].

Все приведенные здесь фильтр-спектры обнаруживают одну общую тенденцию — спадание в короткопериодную область. Так, значение фильтр-спектра на периоде 0,1 сек. в процентах от величины основного максимума составляет для станции 2 — 0,8%, станции 3 — 0,2 и 0,25%, для станции 4 — 0,5%.

На рис. 5 приведены фильтр-спектры, нормированные по ординате основного максимума. При переходе от станции 2 к более далекой станции 4 спектр обедняется короткопериодными колебаниями и максимум сдвигается в область длинных периодов. Однако эта тенденция менее четкая, чем при сравнении спектрально-временных диаграмм.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Введенская. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений под помощью теории дислокаций. М., «Наука», 1969.
2. Ю. В. Райчицкий, Д. Л. Нерсисов и др. Методы детального изучения сейсмичности. Труды ИФЗ АН СССР, 1980, № 9 (176).
3. И. Л. Нерсисов, А. Н. Семенов, И. Г. Симбирева. Пространственно-временное распределение сплоченной энергии протекания поперечных и продольных волн в Гармском районе. — В кн. «Экспериментальная сейсмология». М., «Наука», 1971.
4. В. В. Преображенский, В. В. Степанов, В. В. Штейнберг. Об испытании сейсмических приборов, работающих в худшем режиме. — В сб. «Аппаратура для регистрации сейсмических процессов», вып. 5. М., «Наука», 1969.
5. А. Dziwinski, C. Bloch, M. Landisman. A technique for the analysis of transient seismic signal. — Bull. Seism. Soc. Am., 1969, v. 59.
6. А. Л. Левшин, В. Ф. Дусаренко, Н. М. Груднева, Ф. М. Пручкина. Спектрально-временной анализ сейсмических волн. — В сб. «Теоретическая и вычислительная геофизика». М., «Наука», 1972.
7. А. А. Харкевич. Спектры и анализ. М., Госфизматгиздат, 1962.
8. Н. В. Шебелин. Оценка размеров и положения очага Ташкентского землетрясения по макросейсмическим и инструментальным данным. — В кн. «Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г.». Ташкент, 1971.
9. В. И. Халтурин. Методика оценки спектрального состава сейсмических колебаний по записям частотно-избирательной станции ЧИСС. — Труды ИФЗ АН СССР, 1962, № 25 (192).
10. D. E. Hudson. Some problems in the application of spectrum techniques to strong motion earthquake analysis. — Bull. Seismol. Soc. Amer., 1962, v. 52, № 2.