

УДК: 550. 348.098.5

В. Г. ГРИГОРЯН

ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА РЕАКЦИИ ОТ МАГНИТУДЫ И ЭПИЦЕНТРАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Вопрос зависимостей максимальных амплитуд ускорений колебаний от магнитуд землетрясений был достаточно широко рассмотрен в работе [6]. Несомненно, что спектр колебаний почвы информативнее величины периода максимального колебания, так как последний является одной точкой на спектральной кривой [6]. Исследования по установлению корреляционных зависимостей между амплитудным спектром ускорения колебания грунта от магнитуд для эпицентральной зоны и вне ее приведены в работе [7].

В работах по оценке сейсмической интенсивности на количественной основе неоднократно указывалось на необходимость привязки всего макросейсмического материала (включая и инструментальные данные) к магнитуде землетрясения, глубине очага и к расстоянию от эпицентра [2, 3]. В этой связи несомненно важно установление корреляции между магнитудой землетрясения и спектром приведенного сейсмического ускорения (спектр реакции— $\tau(T, \alpha)$), представляющей большой интерес с инженерной точки зрения.

Нами использованы данные о спектрах приведенных сейсмических ускорений для 91 акселерограммы сильных землетрясений, приведенные в работах [4, 5]. Значения магнитуд анализируемых землетрясений колебались в пределах 4,3—7,7, эпицентральные расстояния—от 6 до 260 км. Глубины очагов землетрясений варьировали в пределах 5—20 км. В основном по интенсивности преобладали горизонтальные колебания почвы. Все акселерограммы землетрясений относятся почти полностью к территории запада США [8, 9].

Корреляционные зависимости спектра реакции от магнитуды сильного землетрясения строились для пяти интервалов эпицентральных расстояний: $\Delta \leq 15$; 16—30; 31—60 км для диапазона магнитуд 4,3—6,2, а также для расстояний 61—120 и $\Delta > 120$ км, для диапазона магнитуд 6,3—7,7. Разделение на интервалы эпицентральных расстояний нами было проведено согласно работе [6], где, в частности, рассматривается зависимость амплитуд ускорений колебаний грунтов от магнитуды.

Для каждого диапазона эпицентральных расстояний зависимость $\tau(T, \alpha)$ от магнитуды построили для двенадцати значений периодов свободных колебаний T от 0,1 до 3,0 сек (при фиксированном значении коэффициента затухания $\alpha=0,16$). На рис. 1 представлены, в частности, такие графики для $\Delta \leq 15$ км.

Аналитическое выражение зависимости $\tau(T, \alpha)$ от M представим в виде:

$$\tau(T, \alpha) = \tau_0(T, \alpha) \cdot 10^{b(T) \cdot M}. \quad (1)$$

Значения коэффициентов $\tau_0(T, \alpha)$ и $b(T)$ находятся по методу наименьших квадратов.

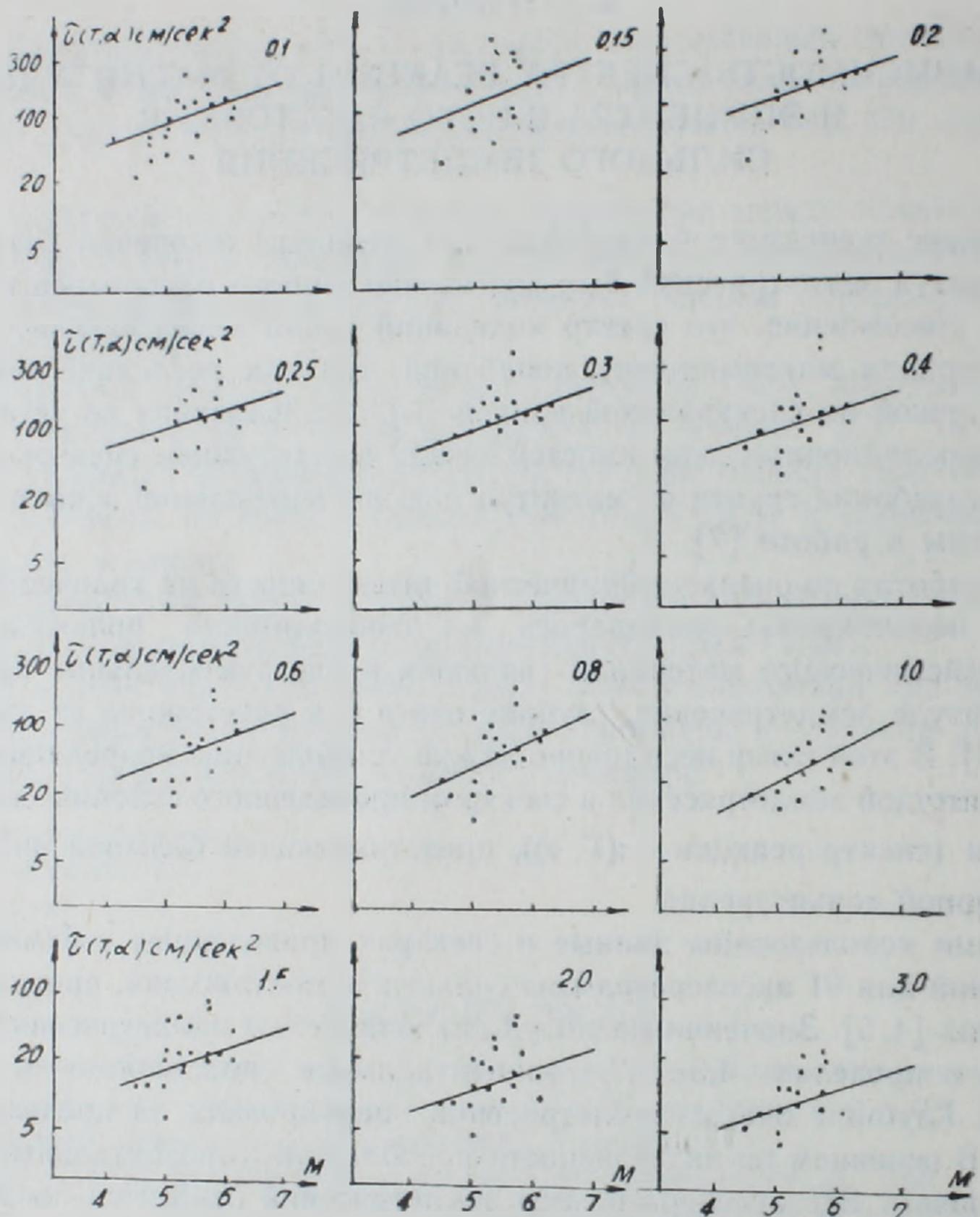


Рис. 1. Графики зависимостей $\tau(T, \alpha)$ от M для всех T при $\Delta \leq 15$ км ($\alpha=0,16$).

В таблице 1 приводятся значения $b(T)$ и $\tau_0(T, \alpha)$ для эпицентральных расстояний $\Delta \leq 15$ км.

Дисперсия рассчитывалась по следующей формуле:

$$\lg \sigma[\tau(T, \alpha)] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\lg \bar{\tau}(T, \alpha) - \lg \tau_i(T, \alpha)]^2}{n-1}}. \quad (2)$$

$\lg \delta[\tau(T, \alpha)]$ для всех случаев меняется в пределах 0,177—0,427. Из этой таблицы видно, что коэффициенты $b(T)$ в уравнениях (1) меняются в пределах 0,17—0,29, т. е. примерно на 70%. Несмотря на это, осредним

значения $b(T)$ для всего спектра, так как проведенный анализ показал, что такое осреднение практически не влияет на окончательный результат.

По полученному среднему $\bar{b}_{ср.}$ нормируются значения $\tau_0(T, \alpha)$.

Таблица 1

Значения коэффициентов $b(T)$ и $\tau_0(T, \alpha)$ (с.м/сек²) в уравнении (1) при $\Delta < 15$ км

T сек.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0
$b(T)$	0,17	0,22	0,19	0,19	0,22	0,19	0,22	0,29	0,26	0,20	0,18	0,18
$\tau_0(T, \alpha)$	10,96	7,73	11,53	12,73	7,89	8,89	4,02	1,38	1,39	2,36	1,94	1,32

Искомая зависимость представится в виде:

$$\tau(T, \alpha) = \tau_{н}(T, \alpha) \cdot 10^{0,21 \cdot M}. \quad (3)$$

Далее получены аналогичные зависимости $\tau(T, \alpha)$ от магнитуды для остальных диапазонов эпицентральных расстояний, которые выражаются по (3).

Нормированные значения $\tau_{н}(T, \alpha)$, а также средние значения $b(T)$ приведены в таблицах 2 и 3. На рис. 2 представлены нормированные графики зависимостей $\tau(T, \alpha)$ от M согласно выражению (3).

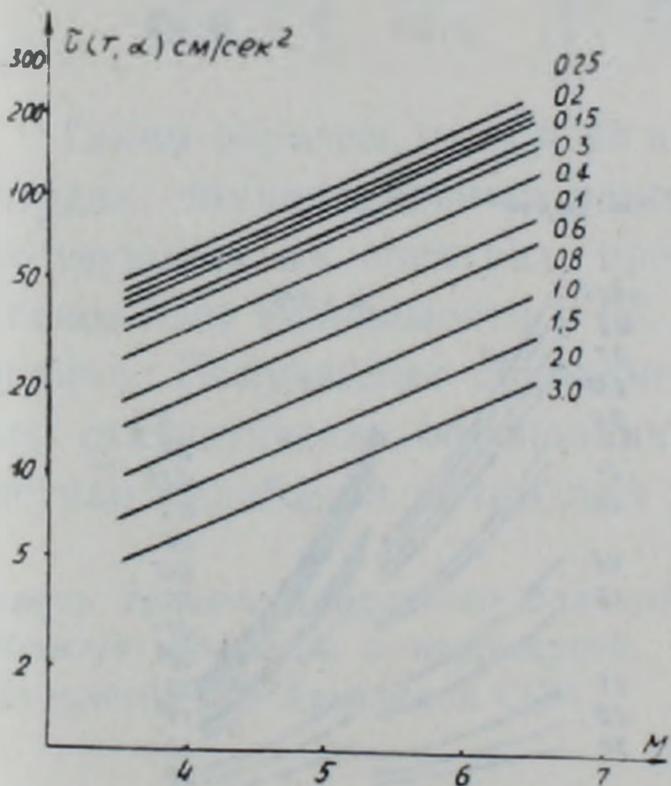


Рис. 2

Рис. 2. Нормированные графики зависимостей $\tau(T, \alpha)$ от магнитуды при $\Delta \leq 15$ км ($\alpha = 0,16$).

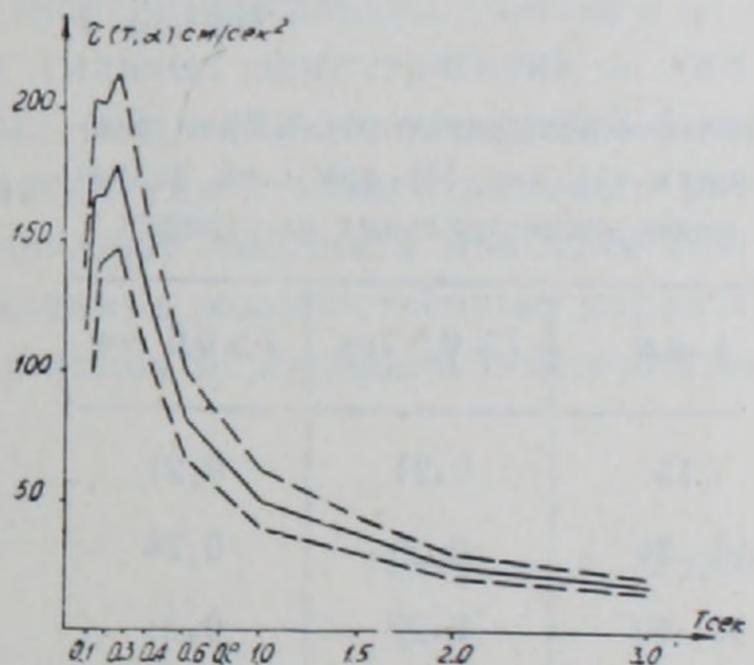


Рис. 3.

Рис. 3. Средний спектр реакции с доверительным интервалом для $P = 75\%$ для $M = 6,0$ ($\Delta < 15$ км; $\alpha = 0,16$).

Характерно, что для эпицентральных расстояний $\Delta = 31-60$; $61-120$ и более 120 км значения $b(T)$ в уравнениях (1) или (3) удается осреднять не для всего спектра, а в диапазонах периодов $T \leq 0,6$ сек и $T > 0,6$ сек (табл. 3).

Полученные зависимости спектра реакции от магнитуды M позволяют строить средние (стандартные) спектральные кривые для любых значений M при данном диапазоне эпицентральных расстояний.

На рис. 3 приведен, в частности, средний спектр реакции для значения $M=6,0$ с доверительным интервалом для вероятности $P=0,75$. Отметим, что по характеру средний спектр достаточно хорошо совпадает со средними спектрами, полученными С. С. Дарбиняном, а зависимости $\tau(T, \alpha) = f(M)$, полученные нами, хорошо аппроксимируются с зависимостью $\tau(T, \alpha) = f(I)$ (I — интенсивность землетрясения, выраженная баллами), приведенной в работе [1].

Таблица 2

Нормирование значения $\tau_{II}(T, \alpha)$ см/сек² для всех диапазонов эпицентральных расстояний

T сек	Δ км				
	< 15	16—30	31—60	61—120	> 120
0,1	6,46	1,78	3,55	13,2	8,13
0,15	9,33	2,01	4,17	16,2	9,33
0,2	9,33	2,29	4,47	17,4	10,23
0,25	9,77	2,45	4,37	19,5	10,23
0,3	9,12	2,45	4,57	19,5	10,23
0,4	7,08	1,99	4,17	17,4	9,33
0,6	4,47	1,58	3,16	17,0	7,24
0,8	3,63	0,91	0,74	0,35	0,50
1,0	2,75	0,85	0,55	0,32	0,44
1,5	1,99	0,50	0,31	0,17	0,29
2,0	1,38	0,36	0,23	0,14	0,24
3,0	0,93	0,28	0,19	0,10	0,15

Таблица 3

Значения коэффициентов $b(T)$ в уравнениях (1) или (3) для всех диапазонов эпицентральных расстояний

Δ км	$T < 0,6$ сек	$T \geq 0,6$ сек
< 15	0,21	0,21
16—30	0,28	0,28
31—60	0,22	0,31
61—120	0,10	0,33
> 120	0,11	0,24

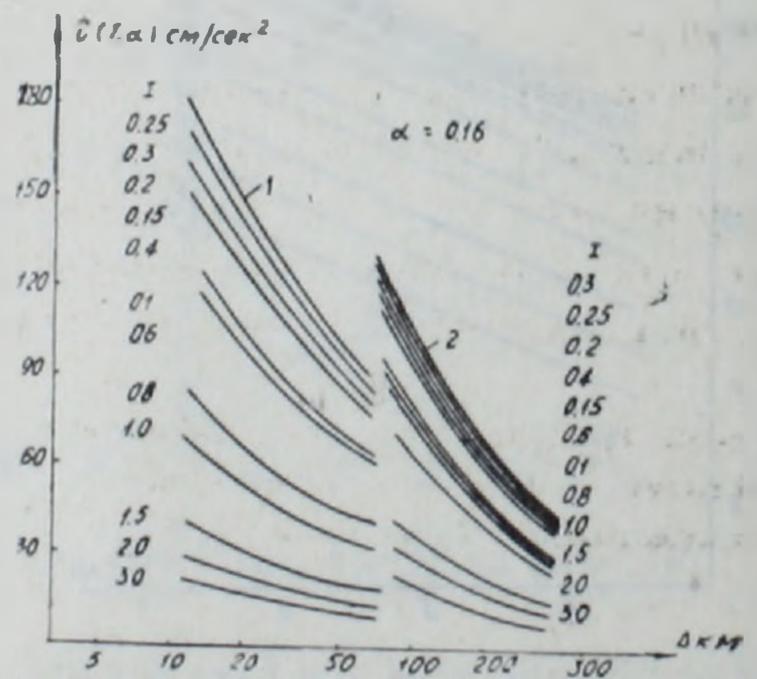


Рис. 4. Графики зависимостей $\tau(T, \alpha)$ от Δ : 1) для эпицентральных расстояний $\Delta \leq 15-60$ км; 2) для эпицентральных расстояний $\Delta > 60$ км.

Перейдем к определению зависимости приведенного сейсмического ускорения от эпицентрального расстояния. На рис. 4 представлены графики $\tau(T, \alpha)$ от Δ для двух диапазонов эпицентральных расстояний — $\Delta \leq 15-60$ км и $\Delta > 60$ км, которые были получены согласно выражению (1) для фиксированных значений магнитуд. Из этого рисунка ви-

ден закономерный спад уровней ускорений при увеличении эпицентрального расстояния. При этом для $\Delta \leq 15-60$ км (представительный диапазон магнитуд 4,3--6,2) спад кривых в правую сторону более «спокоен», чем для эпицентральных расстояний $\Delta > 60$ км (представительный диапазон магнитуд 6,3--7,7). С увеличением периода свободного колебания зависимость приведенных ускорений от Δ ослабевает.

Полученные графики аппроксимируются следующим аналитическим выражением:

$$\tau(T, a) = \tau_{II}(T, a) \cdot \Delta^{-k}, \quad (4)$$

где $k = 0,38$ для $\Delta \leq 15-60$ км; $k = 0,63$ для $\Delta > 60$ км.

Значения $\tau_{II}(T, a)$ в (4) для разных Δ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Нормирование значения $\tau_{II}(T, a)$ см/сек² для разных диапазонов эпицентральных расстояний

T сек.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0
Δ км (M)												
< 15-60 (4,3-6,2)	334	420	445	465	463	395	317	212	171	101	74	55
> 60 (6,3-7,7)	1477	1760	1903	1946	1989	1793	1525	1426	1199	703	556	393

Таким образом, на основе анализа экспериментальных данных о магнитудах, эпицентральных расстояниях сильных землетрясений и соответствующих им спектрах, приведенных сейсмических ускорений были установлены зависимости $\tau(T, a)$ от магнитуды и эпицентрального расстояния. Полученные зависимости позволяют выдавать наиболее полные, статистически обоснованные ожидаемые количественные характеристики колебания почвы при решении задач инженерной сейсмологии.

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт геофизики и инженерной
сейсмологии АН Армянской ССР

Поступила 31. X. 1980.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дарбинян С. С. Эмпирическое определение приведенных сейсмических ускорений. Бюлл. по инж. сейсмологии, № 10. Изд. АН Арм.ССР, 1979.
2. Назаров А. Г. Основная проблема инженерной сейсмологии. Бюлл. по инж. сейсмологии, № 8, Изд. АН Арм.ССР, 1973.
3. Назаров А. Г. О целесообразности отказа от сейсмической шкалы для оценки интенсивности сильных землетрясений. В сб. «Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности», «Наука», М., 1975.
4. Назаров А. Г., Дарбинян С. С. Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений. Изд. АН Арм. ССР, 1974.

5. Назаров А. Г., Дарбинян С. С. Шкала для определения интенсивности сильных землетрясений на количественной основе. В сб. «Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности», «Наука», М., 1975.
6. Крамынин П. Н., Штейнберг В. В. Параметры колебаний плотных грунтов при сильных землетрясениях. В сб. «Инженерно-сейсмические проблемы». Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 18, «Наука», М., 1976.
7. Крамынин П. Н., Чернов Ю. К., Штейнберг В. В. Ускорения колебаний скальных и рыхлых грунтов при сильных землетрясениях. В сб. «Эпицентральная зона землетрясений». Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 19, «Наука», М., 1978.
8. Ярцева Н. С. Некоторые результаты обобщения и анализа литературных данных о сильных землетрясениях. Бюлл. по инженерной сейсмологии, № 9. Изд. АН Арм.ССР. Ереван, 1975.
9. Mihailo D. Trifunac and Vincent W. Lee. A Report on Research Conducted Under a Grant from the National Science Foundation. Los Angeles, California, 1978.