

И. С. ЯРЦЕВА

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБОБЩЕНИЯ И АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ О СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

В последние годы большое распространение получил метод расчета сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам отдельных сильных землетрясений. Однако поскольку записи сильных местных землетрясений для большинства районов отсутствуют, для расчета часто привлекаются акселерограммы, зарегистрированные в совершенно других районах. Для проверки правомерности такого подхода проведено сопоставление акселерограмм сильных землетрясений, полученных в различных сейсмических зонах.

Настоящая работа ограничивается анализом зарубежных акселерограмм сильных землетрясений, так как в СССР до последнего времени практически не велась систематическая регистрация записей ускорений. Правда, за последние годы получено некоторое число отечественных акселерограмм [2], зарегистрированных в непосредственной близости от районов возведения высоких плотин при ощутимых землетрясениях, но этот материал по ряду причин практически недоступен. Таким образом, материалы и работы американских и японских специалистов составляют основу инструментального изучения сильных движений, которое начато сравнительно недавно. Основная и значительная часть акселерограмм получена Береговой и геодезической службой США. Этим и объясняется то, что выводы и заключения как зарубежных, так и наших исследователей опираются на этот фактический материал. Отмечаются значительные расхождения в оценках параметров зарегистрированных землетрясений по данным разных авторов (табл. 1). С большим доверием надо было бы относиться к данным американских сейсмологов, но, как выяснилось, цифры, приводимые Рихтером и Хаузнером, довольно сильно отличаются даже для всем известного землетрясения в долине Импириал 18/V 1940 г. Величины эпицентрального расстояния оценены от 12 км [5] до 48 км [11]. Можно согласиться с тем, что расхождение этих оценок незначительно, но значения глубин очагов для этого землетрясения отличаются очень сильно—24 и 70 км. Такой разброс оценок одних и тех же параметров затрудняет классификацию записей при выборе так называемых «аналоговых» акселерограмм для того или иного конкретного района. К тому же необходимо добавить, что данные о грунтовых условиях мест регистрации акселерограмм и геологотектонической обстановке этих районов практически неизвестны. Известно только, что в большинстве случаев это рыхлые породы: калифорнийские сейсмические станции располагаются в районах с мощной толщей осадочных пород. Следовательно, непосредственно акселерограммы без каких-либо оговорок применять для расчетов на сейсмические нагрузки невоз-



можно, хотя бы потому, что гидротехнические сооружения возводятся на скальных грунтах, для которых макросейсмический эффект оценивается на 1—2 балла ниже, чем на рыхлых, в зависимости от литологии пород, слагающих интересующий нас район строительства.

Далее рассмотрены существующие зависимости между величинами максимальных ускорений, зарегистрированных инструментально при землетрясениях, и интенсивностью сотрясения свободной поверхности земли, определяемой макросейсмически.

При оценивании интенсивности колебаний того или иного землетрясения необходимо учитывать следующие величины, выделяемые по месту или способу определения интенсивности: 1—интенсивность колебаний в эпицентре— $J_0$ , 2—интенсивность колебаний в пункте регистрации акселерограмм сильных землетрясений, а) определяемая по макросейсмическим данным— $J_{\Delta}$  и б) —по количественным шкалам, одной из которых является шкала ГОСТ 6549—52. В этом случае интенсивность определяется по величине максимального ускорения, зарегистрированного при землетрясении— $J_{\Delta}$  [3]. Перечисленные значения интенсивностей для одного и того же землетрясения существенно различаются. Это необходимо учитывать при выборе расчетных параметров так называемого «максимально возможного» землетрясения в конкретном районе.

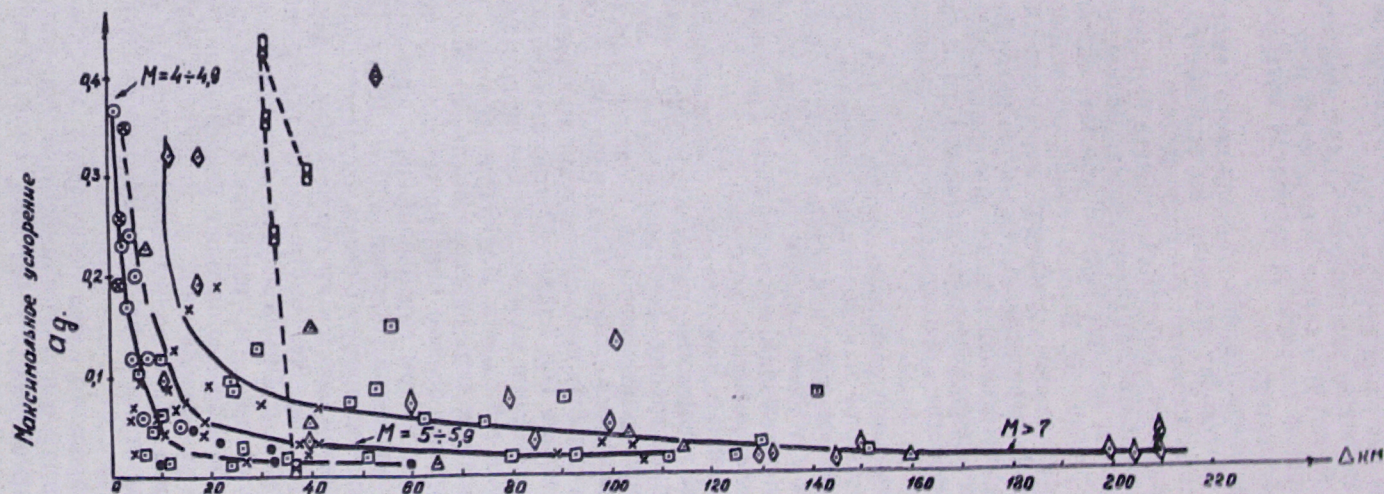
В мировой практике используется несколько количественных шкал, связывающих балльность с величиной максимального ускорения. Очевидно, ни одну из них нельзя механически применять как к различным типам землетрясений (сильным и слабым, близким и далеким и т. д.), так и, что очень важно, к землетрясениям, происходящим в различных сейсмогеологических и сейсмотектонических условиях.

Широко распространено мнение о том, что если зарегистрировано землетрясение с максимальным ускорением, по количественной шкале ГОСТ 6249—52 [3] попадающим в группу девятибалльных, то оно и проявилось на поверхности земли с интенсивностью 9 баллов. Так, например, всем известное землетрясение в долине Импириал 1940 г., считавшееся до 9/II 1971 г.\* самым сильным по величине ускорения, равного 0,31—0,33g, по количественной шкале ГОСТ 6249—52 относят к 9-балльному, хотя интенсивность сотрясений при этом землетрясении по макросейсмическим данным определена в 8 баллов. Иллюстрацией того, что нельзя механически пользоваться шкалами перевода балльности в ожидаемое ускорение и наоборот—определять балльность по величине максимального ускорения даже с учётом преобладающего периода колебаний, может служить землетрясение в Паркфилде 27/VI 1966 г. [8]. Это землетрясение было записано одновременно пятью акселерографами, расположенными в непосредственной близости от разлома Сан-Андреас. Оно было неглубоким ( $h=9$  км) и с  $M=6,4$ . На станции, установленной на разломе, записано ускорение 0,5 g. Интенсивность же описываемого землетрясения оценена в 7 баллов, так как разрушения наблюдались небольшие и интенсивность колебаний резко падала с удалением от разлома. Если определять балльность по известной и принятой в нашей стране за рабочую количественной шкале, то получим 9 баллов. Но это значение интенсивности не соответствует результатам макросейсмического обследования.

В результате обработки собранного сейсмологического материала (табл. 2) построены графики, отражающие зависимости величин максимальных ускорений, зарегистрированных при сильных землетрясениях,

\* 9/II 1971 г. в США получена акселерограмма с ускорением 1,05 g.

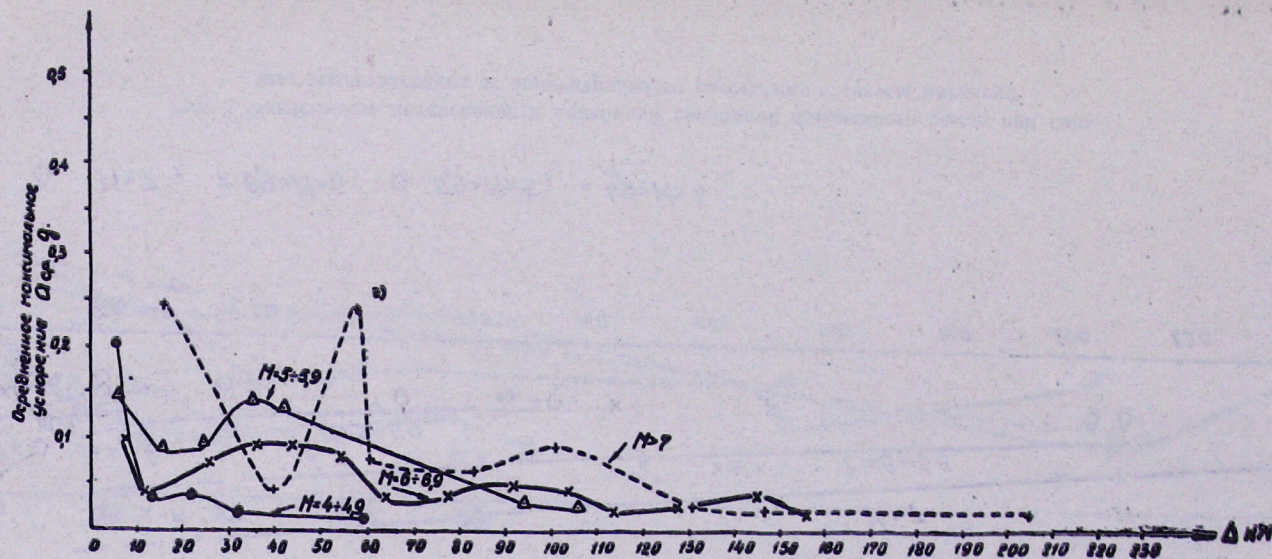




- ◇  $M>7$ ; Америка.
- △  $7>M>6.5$ ; "
- $6.5>M>6$ ; "
- $6>M>5$ ; Япония.
- ×  $6>M>5$ ; Америка
- $M=5.6$ ; Паркфилд
- $5>M>4$ ; Япония.
- $5>M>4$ ; Америка.

Рис. 1. Зависимость величин максимальных ускорений, зарегистрированных приборами сильных движений, от эпицентрального расстояния с учетом магнитуд



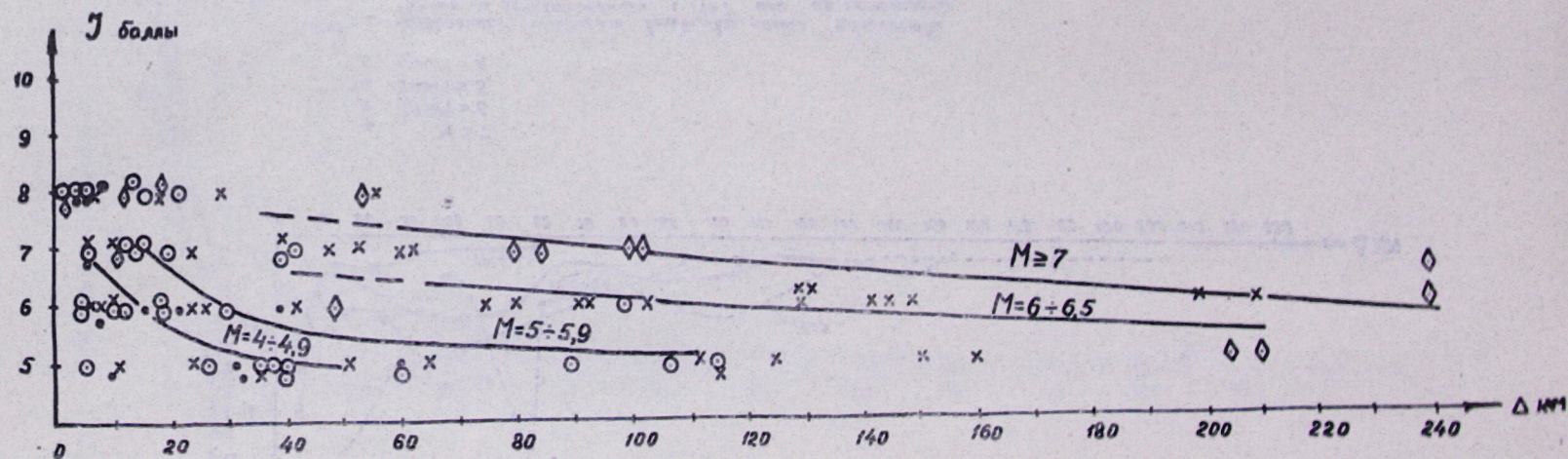


+  $M > 7$   
 x  $6.9 > M > 6$   
 Δ  $5.9 > M > 5$   
 •  $4.9 > M > 4$

\*) — неуверенное осреднение вследствие малого количества данных о землетрясениях с  $M > 7$  или из неточности

Рис. 2. Зависимость осредненных значений величин максимальных ускорений, зарегистрированных при сильных землетрясениях, от эпицентрального расстояния с учетом магнитуд





◇  $M \geq 7$ ; x  $6.9 > M > 6$ ; ○  $5.9 > M > 5$ ; •  $4.9 > M > 4$ .

Рис. 3. Зависимость интенсивности колебаний свободной поверхности земли при сильных землетрясениях от эпицентрального расстояния с учетом магнитуд



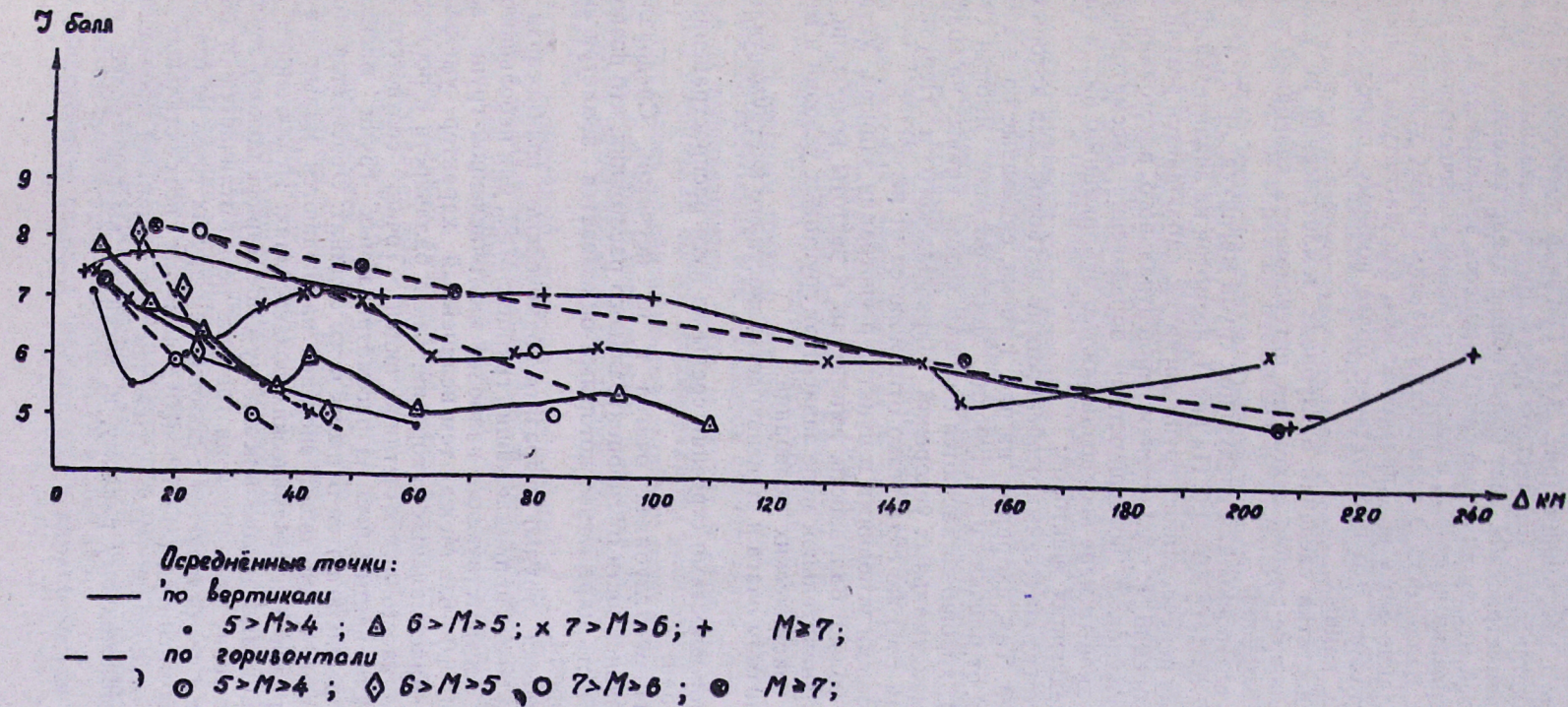


Рис. 4. Кривые зависимости интенсивности колебаний свободной поверхности земли при сильных землетрясениях от эпицентрального расстояния с учетом магнитуд, проведенные по осредненным точкам



от эпицентрального расстояния (рис. 1,2) и балльности опять же от эпицентрального расстояния (рис. 3,4). Графики построены с учетом магнитуд землетрясений. Совместное рассмотрение названных параметров сильных землетрясений дает более общее представление о характере взаимосвязей между ними и о самом процессе землетрясения в целом. При построении приняты в настоящем время количественных шкал, связывающих балльность с величинами максимальных ускорений, не учитывались такие важные характеристики, как магнитуда и эпицентрального расстояние. Это препятствует более полному использованию геофизических данных.

Из-за недостатка сведений о глубинах землетрясений не удалось проследить влияние глубин очагов на интенсивность колебаний и максимальные ускорения.

Графики построены для следующих групп магнитуд:  $M > 7$ ;  $M = 7,0 - 6,0$ ;  $M = 6,0 - 5,0$ ;  $M = 5,0 - 4,0$ . На рис. 1, несмотря на значительный разброс точек, для перечисленных групп магнитуд, наблюдается резкий спад значений ускорений с увеличением эпицентрального расстояния. Разброс точек обусловлен погрешностями определения рассматриваемых величин и в какой-то мере неоднозначностью публикаций о них, а также влиянием следующих факторов:

1. Геологотектоническими особенностями регионов, для которых получены записи. Так, например, на рис. 1 точки, связанные со значениями ускорений от близких и неглубоких землетрясений Японии 1966 г. ( $M = 4,0 - 5,1$ ), хорошо согласуются с общим ходом кривых на графике, а величины максимальных ускорений Паркфилдского и Перуанского землетрясений того же года резко отклоняются от него.

2. Грунтовыми условиями в пунктах регистрации записей. Установлено, что не только балльность, амплитуды и частоты колебаний, но и их спектры в значительной мере зависят от грунтовых условий в местах регистрации сейсмических колебаний.

3. Механизмом очага и степенью детальности его инструментального изучения.

4. Неоднородностями строения среды на пути распространения сейсмических волн.

5. Различием в глубинах очагов и их учетом. Следовало бы строить эти зависимости от гипоцентрального расстояния, что позволило бы полнее учесть параметры, которыми описывается землетрясение в настоящее время.

Аналитически трудно выразить подмеченные взаимосвязи из-за малого числа точек, принадлежащих группе с  $M > 7$ , или небольшого разброса точек, соответствующих наиболее многочисленной группе землетрясений с  $M = 5,0 - 6,0$ . Между тем нелинейный характер уменьшения как величин максимальных ускорений, так и балльности с ростом эпицентрального расстояния отчетливо виден. Точки, соответствующие землетрясениям наименьшей из рассматриваемых групп магнитуд с  $M = 5,0 - 4,0$ , располагаются ближе к осям ординат. Объясняется это тем, что при толчках с небольшой энергией наблюдаются малые значения ускорений грунта при сейсмических воздействиях. Исключением являются точки, принадлежащие описанному выше Паркфилдскому землетрясению. Положение этих точек на графике резко отличается от общего хода кривых и не согласуется с положением других точек не только для своей группы магнитуд ( $M = 5,0 - 6,0$ ), но и для всех остальных групп. Это резкое отклонение объясняется тем, что подвижка произошла по готовому незалеченному разлому, и, частично, вызвано более полной



инструментальной изученностью этого землетрясения по отношению ко всем остальным. Положение их служит хорошей иллюстрацией влияния разлома на колебания свободной поверхности земли с удалением от эпицентра в перпендикулярном направлении.

Влиянием геологотектонических особенностей района регистрации колебаний можно объяснить отклонение от кривых значений ускорений, зарегистрированных на мощной толще аллювиальных отложений предгорного прогиба в г. Лиме (Перу) [10]. Приведенные примеры еще раз подтверждают, что нельзя переносить результаты наблюдений в районах с определенными сейсмогеологическими и сеймотектоническими условиями на другие.

Более четкий характер поведения кривых, осредняющих точки, соответствующие землетрясениям с разными магнитудами, дает рис. 2. Осреднение производилось для групп точек с шагом по оси абсцисс, равным 10 км. Такой шаг выбран как средний для всего интервала эпицентральных расстояний ввиду того, что они изменяются в широких пределах от 0 до 250 км и точность их определений также колеблется. Сглаживание кривых не производилось. По всей вероятности, вид графиков на рис. 2 отражает действительное положение. В подтверждение этого можно привести калибровочные графики для определения магнитуд по величинам смещений [1]. Рихтер предполагал, что это будут простые зависимости, но, как оказалось при последующих исследованиях, кривые зависимости смещений от эпицентральных расстояний имеют вид, подобный кривым рис. 2.

Зависимости интенсивности колебаний свободной поверхности земли при сильных землетрясениях от эпицентральных расстояний с учетом магнитуд показаны на рис. 3. При проведении кривых точки разбиты на те же группы магнитуд. Кривые спада величин интенсивностей колебаний грунта с ростом эпицентральных расстояний, проведенные по осредненным точкам, изображены на рис. 4. Здесь значения интенсивностей колебаний, как и в первом случае, взяты как средние для каждой из вышеназванных групп магнитуд и отнесены к десятикилометровым интервалам по оси эпицентральных расстояний, т. е. осреднение производилось по вертикальным столбцам шириной по оси абсцисс, равной 10 км, с нулевым перекрытием. Как показано на рис. 4, характер зависимостей интенсивностей колебаний для разных групп магнитуд неодинаков.

Итак, нелинейный характер уменьшения величин максимальных ускорений и балльности с увеличением эпицентральных расстояний очевиден, хотя тип зависимостей каждой из рассматриваемых величин различен.

Изучение сильных движений, с интенсивностью колебаний более 5 баллов, представляет интерес в связи с выявлением закономерностей распространения сейсмических колебаний в ближней зоне и их динамических особенностей на малых расстояниях от очага, вплоть до границ очага, а также в связи с исследованием сейсмического эффекта в различных сейсмогеологических зонах. Для определения параметров сотрясения грунта при сильных землетрясениях в настоящее время вырисовываются четыре пути:

1. Сопоставление экспериментальных данных о сильных движениях, определенных для различных грунтов, с последующим пересчетом для скального основания с учетом характеристик вышележащих слоев [4, 12].
2. Расчет параметров сильных движений по эмпирическим формулам с учетом параметров поверхностного слоя [9].
3. Определение средних параметров и характеристик колебаний,



возможных в конкретном районе. При осреднении сглаживаются отдельные случайные элементы и подчеркивается то основное общее, что характерно для данных процессов. Трудность заключается в малом количестве исходных данных, т. е. записей сильных землетрясений, полученных для районов с определенными сейсмогеологическими условиями.

4. Моделирование сейсмических движений, т. е. построение вероятностной модели землетрясения.

В связи с недостаточной изученностью вопроса и неполнотой фактического материала третий и четвертый пути на данном этапе исследований представляются наиболее правильными. Необходимо отметить, что при определении связи интенсивности землетрясений с величинами максимальных ускорений колебаний грунта, по-видимому, следует использовать корреляционные зависимости, учитывающие особенности очаговых зон, гипоцентральных расстояний и грунтовые условия в пунктах регистрации. Прогноз же сейсмических воздействий должен решаться в результате анализа инструментальных записей землетрясений, на основании которых возможно изучать параметры сотрясения грунта (амплитудный уровень колебаний, частотный состав, частотно-временные распределения, длительность, форму записи) от наблюдавшихся и возможных в данном конкретном районе. В дальнейшем следует перейти к статистическим оценкам средних параметров и к моделированию вероятностных движений для небольших территорий с едиными сейсмогеологическими и тектоническими условиями, так как от них зависит характер сотрясения поверхности от землетрясения одной и той же энергии, глубины и на соизмеримых эпицентральных расстояниях.

Таблица 1

Таблица параметров землетрясений по данным разных литературных источников

| №    | Дата        | Район         | $J$<br>балл | $M$ | $\Delta$ ,<br>км | $h$ , км | $a_{max}$<br>g | $T$ ,<br>сек | $x$ | Грунт  | $D_{max}$<br>сек |
|------|-------------|---------------|-------------|-----|------------------|----------|----------------|--------------|-----|--------|------------------|
| I    | 10/III 1933 | Вернон        | 8           | —   | 56               | —        | 0,15           | 0,7          | 1   | Рыхлые | 9                |
|      |             |               |             | 6,3 | 45               | 24       | 0,19           | —            | 2   |        |                  |
| II   | 10/III 1933 | Лонг Бич      | 8           | —   | 29               | —        | 0,19           | 0,21         | 1   | Рыхлые | 8                |
|      |             |               |             | 6,3 | —                | —        | —              | —            | 6   |        |                  |
| III  | 18/V 1940   | Эль Центро    | 8           | —   | 12               | —        | 0,31           | 0,18         | 1   | Рыхлые | 23               |
|      |             |               |             | 6,7 | 48               | 24       | 0,33           | —            | 2   |        |                  |
|      |             |               |             | 7,0 | 12               | —        | —              | —            | 3   |        |                  |
|      |             |               |             | 7,1 | 50               | 70       | —              | —            | 5   |        |                  |
| IV   | 30/VI 1941  | Санта Барбара | 8           | —   | 16               | —        | 0,17           | 0,24         | 1   | Рыхлые | 5                |
|      |             |               |             | 5,9 | 24               | 31       | 0,24           | —            | 2   |        |                  |
| V    | 13/IV 1949  | Олимпия       | 8           | —   | 18               | —        | 0,32           | 0,34         | 1   | Рыхлые | 20               |
|      |             |               |             | 7,1 | 72               | 72       | 0,31           | —            | 2   |        |                  |
|      |             |               |             | —   | 80               | 80       | —              | —            | 5   |        |                  |
|      |             |               |             | 6,8 | —                | —        | —              | —            | 6   |        |                  |
| VI   | 9/III 1949  | Холлистер     | 8           | —   | 22               | —        | 0,19           | 0,29         | 1   | Скала  | 6                |
|      |             |               |             | 5,9 | 16               | 24       | 0,23           | —            | 2   |        |                  |
|      |             |               |             | 5,2 | —                | —        | —              | —            | 6   |        |                  |
| VII  | 21/VII 1952 | Тафт          | 8           | —   | 18               | —        | 0,19           | 0,28         | 1   | Рыхлые | 15               |
|      |             |               |             | 7,7 | 64               | 24       | 0,18           | —            | 2   |        |                  |
|      |             |               |             | 7,7 | 45               | 16       | 0,15           | 0,34         | 3   |        |                  |
|      |             |               |             | 7,7 | 45               | 17       | —              | —            | 4   |        |                  |
|      |             |               |             | 7,7 | 65               | 25       | —              | —            | 5   |        |                  |
|      |             |               |             | 7,6 | —                | —        | —              | —            | 6   |        |                  |
| VIII | 21/XII 1954 | Юрика         | 8           | —   | 7                | —        | 0,23           | 0,40         | 1   | Скала  | 5                |
|      |             |               |             | 6,6 | 40               | 0—20     | —              | —            | 4   |        |                  |
|      |             |               |             | —   | 64               | 13       | —              | —            | 6   |        |                  |
| IX   | 22/III 1957 | Сан-Франциско | —           | 5,3 | 13               | 11       | 0,13           | 0,3          | 6   | Скала  | 4                |

\* Источники, из которых приведены в таблице параметры землетрясений: 1—Медведев [2]; Хаузнер [11]; Рихтер [6]; Штейнберг [5]; Cavallo [14]; USEUS [13].



Таблица параметров землетрясений, для которых зарегистрированы записи ускорений

Таблица 4

| №  | Дата         | Станция       | M       | $\Delta$ | h     | J <sup>x</sup> | a <sub>max</sub> | T    | D <sub>max</sub> | Составляющая   | Грунт   |
|----|--------------|---------------|---------|----------|-------|----------------|------------------|------|------------------|----------------|---------|
|    |              |               |         | км       | км    | балл           | g                | сек  | сек              |                |         |
| 1  | 2            | 3             | 4       | 5        | 6     | 7              | 8                | 9    | 10               | 11             | 12      |
| 1  | 10/III 1933  | Vernon        | 6,3     | 45—56    | 24    | 8              | 0,15             | 0,70 | 9                | Горизонтальная | Аллювий |
| 2  | 2/X 1933     | "             | 5,3     | 6        | —     | 7              | 0,11             | 0,28 | 7                |                |         |
| 3  | 21/VII 1952  | "             | 6,4—7,7 | 85       | —     | 7              | 0,04             | 0,90 | 30               |                |         |
| 4  | 21/X 1941    | "             | 4,8     | 20       | —     | 6              | 0,02             | 0,34 | —                |                |         |
| 5  | 4/XII 1948   | "             | 6,5     | 35       | —     | 5              | 0,03             | 0,40 | —                | " "            | " "     |
| 6  | 10/III 1933  | Long Beach    | 6,3     | 29       | 24    | 8              | 0,19             | 0,21 | 8                |                |         |
| 7  | 2/X 1933     | "             | 5,3     | 5        | —     | 6              | 0,06             | 0,15 | —                |                |         |
| 8  | 21/X 1941    | "             | 4,8     | 3        | —     | 6              | 0,03             | 0,48 | —                |                |         |
| 9  | 14/XI 1941   | "             | 5,4     | 7        | —     | 6              | 0,05             | 0,66 | —                |                |         |
| 10 | 21 VII 1952  | "             | 6,4—7,7 | 45       | —     | 6              | 0,02             | 0,76 | —                |                |         |
| 11 | 18/V 1940    | El Centro     | 6,7—7,1 | 12—50    | 24—70 | 8              | 0,31             | 0,18 | 23               |                |         |
| 12 | 18/V 1940    | "             | 6,4     | 11       | —     | 7              | 0,09             | 0,30 | 2—7              |                |         |
| 13 | 18/V 1940    | "             | 5,4     | 14       | —     | 7              | 0,07             | 0,25 | 2—8              |                |         |
| 14 | 21/XI 1942   | "             | 6,5     | 48       | —     | 7              | 0,08             | 0,31 | 8—16             |                |         |
| 15 | 9/IV 1968    | "             | 6,5     | 40       | —     | 7              | 0,14             | —    | —                |                |         |
| 16 | 30/XII 1934  | "             | 6,5     | 24       | —     | 6              | 0,08             | 0,25 | —                |                |         |
| 17 | 13/VII 1953  | "             | 5,5     | 11       | —     | 6              | 0,04             | 0,21 | —                |                |         |
| 18 | 19/III 1954  | "             | 6,2     | 80       | —     | 6              | 0,02             | 0,60 | —                |                |         |
| 19 | 2/IV 1947    | "             | 4,2     | 60       | —     | 5              | 0,02             | 0,29 | —                |                |         |
| 20 | 21/XI 1954   | "             | 6,3     | 51       | —     | 5              | 0,02             | 0,60 | —                |                |         |
| 21 | 29/VII 1950  | "             | 5,5     | 27       | —     | 5              | 0,01             | 0,47 | —                |                |         |
| 22 | 30/VI 1941   | Santa Barbara | 5,9     | 16—24    | 31    | 8              | 0,17             | 0,24 | 5                | " "            | Аллювий |
| 23 | 21/VII 1952  | "             | 6,4—7,7 | 80       | —     | 7              | 0,08             | 0,50 | 8                |                |         |
| 24 | 13/IV 1949   | Olympia       | 6,8—7,1 | 18—80    | 72—80 | 8              | 0,32             | 0,34 | 20               | " "            | Рыхлые  |
| 25 | "            | Seattle       | 6,0     | 60       | —     | 7              | 0,08             | 0,36 | 24               |                |         |
| 26 | 9/III 1949   | Hollister     | 5,2—5,9 | 16—22    | 24    | 8              | 0,19             | 0,29 | 6                | " "            | Скала   |
| 27 | 10/VIII 1947 | "             | 5,0     | 5        | —     | 6              | 0,07             | 0,18 | —                |                |         |
| 28 | 13/III 1949  | "             | 4,7     | 22       | —     | 6              | 0,04             | 0,20 | —                |                |         |
| 29 | 22/VI 1947   | "             | 5,0     | 40       | —     | 5              | 0,02             | 0,35 | —                |                |         |

\* Данные об интенсивности колебаний при землетрясениях до 1954 г. включительно приведены по сводке С. В. Медведева [2]; для более поздних записей эти сведения взяты из различных публикаций.



Продолжение таблицы 2

| 1  | 2           | 3             | 4       | 5     | 6     | 7 | 8    | 9    | 10   | 11             | 12      |
|----|-------------|---------------|---------|-------|-------|---|------|------|------|----------------|---------|
| 30 |             | .             |         | 36    | —     | 5 | 0,02 | 0,26 | —    | .              | .       |
| 31 | 6/VII 1947  | .             | 4,7     | 10    | —     | 5 | 0,01 | 0,14 | —    | .              | .       |
| 32 | 22/X 1949   | .             | 4,7     | 33    | —     | 5 | 0,02 | 0,37 | —    | .              | .       |
| 33 | 21/VII 1952 | Taft          | 7,6—7,7 | 18—65 | 16—25 | 8 | 0,15 | 0,28 | 15   | Горизонтальная | Аллювий |
| 34 | 12/I 1954   | .             | 5,9     | 42    | —     | 7 | 0,07 | 0,30 | 8    | .              | .       |
| 35 | 21/XII 1954 | Eureka        | 6,6     | 7—64  | 13—20 | 8 | 0,23 | 0,40 | 5    | .              | Скала   |
| 36 | 6/VII 1934  | .             | 6,5     | 112   | —     | 5 | 0,02 | 0,30 | —    | .              | .       |
| 37 | 9/II 1941   | .             | 6,6     | 65    | —     | 5 | 0,02 | 0,30 | —    | .              | .       |
| 38 | 3/X 1941    | .             | 6,4     | 24    | —     | 5 | 0,02 | 0,45 | —    | .              | .       |
| 39 | 10/III 1933 | Los Angeles   | 6,3     | 62    | —     | 7 | 0,06 | 0,90 | 21   | .              | Аллювий |
| 40 | 2/X 1933    | .             | 5,3     | 30    | —     | 6 | 0,08 | 0,20 | —    | .              | .       |
| 41 | 21/VII 1952 | .             | 6,4—7,7 | 130   | —     | 6 | 0,02 | 0,28 | —    | .              | .       |
| 42 | .           | .             | .       | 132   | —     | 6 | 0,02 | 1,13 | —    | .              | .       |
| 43 | 21/X 1941   | .             | 4,8     | 26    | —     | 5 | 0,02 | 0,59 | —    | .              | .       |
| 44 | 14/XI 1941  | .             | 5,4     | 27    | —     | 5 | 0,01 | 0,42 | —    | .              | .       |
| 45 | 31/X 1935   | Helena        | 6,0     | 6     | —     | 7 | 0,11 | 0,20 | 4    | .              | Скала   |
| 46 | .           | .             | 6,0     | 8     | —     | 6 | 0,05 | 0,23 | —    | .              | .       |
| 47 | 11/IX 1938  | Ferndale      | 5,5     | 20    | —     | 7 | 0,09 | 0,18 | 10   | .              | .       |
| 48 | 3/X 1941    | .             | 6,4     | 24    | —     | 7 | 0,09 | 0,45 | 4—7  | .              | .       |
| 49 | 7/X 1951    | .             | 6,0     | 53    | —     | 7 | 0,09 | 0,17 | 5    | .              | .       |
| 50 | 21/XII 1954 | .             | 6,6     | 40    | —     | 7 | 0,15 | 0,50 | 6—10 | .              | .       |
| 51 | 9/II 1941   | .             | 6,6     | 104   | —     | 6 | 0,05 | 0,25 | —    | .              | .       |
| 52 | 18/XII 1946 | .             | 5,0     | 19    | —     | 6 | 0,06 | 0,25 | —    | .              | .       |
| 53 | 27/V 1947   | .             | 5,0     | 42    | —     | 6 | 0,03 | 0,12 | —    | .              | .       |
| 54 | 14/I 1950   | .             | 4,8     | 40    | —     | 6 | 0,04 | 0,40 | —    | .              | .       |
| 55 | 23/IX 1947  | Ferndale      | 5,6     | 60    | —     | 5 | 0,02 | 0,25 | —    | .              | .       |
| 56 | 18/IX 1948  | .             | 5,0     | 40    | —     | 5 | 0,02 | 0,11 | —    | .              | .       |
| 57 | 21/VII 1952 | Pasadena      | 6,4—7,7 | 100   | —     | 7 | 0,05 | 0,68 | 6—12 | .              | .       |
| 58 | 23/VII 1952 | Tehachapi     | 6,1     | 10    | —     | 7 | 0,12 | 0,25 | 2    | .              | .       |
| 59 | 24/VII 1952 | .             | 5,2     | 12    | —     | 7 | 0,09 | 0,20 | 3    | .              | .       |
| 60 | 26/VII 1952 | .             | 5,7     | 15    | —     | 7 | 0,08 | 0,25 | 4    | .              | .       |
| 61 | 22/VII 1952 | .             | 5,1—5,5 | 10    | —     | 6 | 0,07 | 0,30 | —    | .              | .       |
| 62 | 27/VII 1952 | .             | 6,1     | 10    | —     | 6 | 0,07 | 0,25 | —    | .              | .       |
| 63 | 18/III 1957 | Port Hueneme  | 4,7     | 8     | —     | 7 | 0,16 | 0,50 | —    | .              | .       |
| 64 | 22/III 1957 | San Francisco | 5,3     | 10—13 | 11    | 7 | 0,13 | 0,30 | 4    | .              | .       |
| 65 | 22/VI 1947  | .             | 5,0     | 107   | —     | 5 | 0,01 | 0,41 | —    | .              | Рыхлые  |
| 66 | 21/VII 1952 | Bishop        | 6,4—7,7 | 200   | —     | 6 | 0,02 | 0,34 | —    | .              | .       |
| 67 | 14/IX 1941  | .             | 6,0     | 11    | —     | 5 | 0,02 | 0,22 | —    | .              | .       |
| 68 | 7/VI 1948   | .             | 4,2     | 32    | —     | 5 | 0,03 | 0,40 | —    | .              | .       |



| 1   | 2            | 3               | 4       | 5              | 6     | 7   | 8    | 9    | 10 | 11                  | 12              |
|-----|--------------|-----------------|---------|----------------|-------|-----|------|------|----|---------------------|-----------------|
| 69  | 16/XII 1954  | "               | 6,8—7,1 | 210            | —     | 5   | 0,03 | 0,40 | —  | Горизонтальная      | "               |
| 70  | 27/I 1954    | Arvin           | 5,0     | 19             | —     | 6   | 0,05 | 0,10 | —  |                     | "               |
| 71  | 12/I 1954    | "               | 5,9     | 90             | —     | 5   | 0,02 | 0,40 | —  |                     | "               |
| 72  | 21/X 1942    | San Diego       | 6,5     | 6              | —     | 6   | 0,03 | 0,21 | —  |                     | "               |
| 73  | 4/XI 1949    | "               | 5,7     | 99             | —     | 6   | 0,03 | 0,18 | —  | Глинистый<br>сланец | "               |
| 74  | 21/VII 1952  | Holly Wood      | 6,4—7,7 | 210            | —     | 6   | 0,04 | 0,42 | —  |                     | "               |
| 75  | 2/X 1933     | "               | 5,3     | 38             | —     | 5   | 0,03 | 0,30 | —  |                     | "               |
| 76  | 10/IV 1947   | Colton          | 6,4     | 125            | —     | 5   | 0,02 | 0,25 | —  |                     | "               |
| 77  | 4/XII 1948   | "               | 6,5     | 93             | —     | 6   | 0,02 | 0,17 | —  | Аллювий             | "               |
| 78  | 21/XI 1952   | San Luis Obispo | 6,0     | 75             | —     | 6   | 0,06 | 0,24 | —  |                     | "               |
| 79  | 21/VII 1952  | "               | 7,7     | 205            | —     | 5   | 0,01 | 0,80 | —  |                     | "               |
| 80  | 4/XII 1948   | Santa Ana       | 6,5     | 142            | —     | 6   | 0,08 | 0,10 | —  |                     | "               |
| 81  | 4/XII 1948   | San Bernardino  | 6,5     | 91             | —     | 6   | 0,08 | 0,10 | —  | "                   | "               |
| 82  | 21/VII 1952  | West Wood       | 6,4—7,7 | 150            | —     | 6   | 0,03 | 0,70 | —  | "                   | "               |
| 83  | 27/VIII 1945 | San Jose        | 5,0     | 5              | —     | 5   | 0,02 | 0,20 | —  | "                   | "               |
| 84  | 27/VI 1966   | Parkfield       | 5,5—6,2 | 30—40          | 9     | 7   |      |      | —  | "                   | "               |
|     |              | ст. Temblor     | "       | 40             | "     | "   | 0,25 | 0,35 | 6  | "                   | Скала<br>Рыхлые |
|     |              | ст. № 2         | "       | 31             | "     | "   | 0,43 | 0,60 | 6  | "                   |                 |
|     |              | ст. № 5         | "       | 32             | "     | "   | 0,38 | 0,40 | 6  | "                   |                 |
|     |              | ст. № 8         | "       | 34             | "     | "   | 0,24 | 0,35 | 6  | "                   |                 |
|     |              | ст. № 12        | "       | 37             | "     | "   | 0,06 | 0,15 | 8  | "                   | "               |
| 85  | 31/VIII 1954 | Follon          | 6,3     | 51             | —     | 5   | 0,02 | 0,50 | —  | "                   | "               |
| 86  | 23/VIII 1954 | Hawthorne       | 6,8     | 115            | —     | 5   | 0,03 | 0,20 | —  | "                   | "               |
| 87  | 23/XI 1947   | Bozeman         | 6,25    | 130            | —     | 6   | 0,03 | 0,20 | —  | "                   | "               |
| 88  | 23/XI 1947   | Butte           | 6,25    | 26             | —     | 6   | 0,04 | 0,30 | —  | "                   | "               |
| 89  | 17/VIII 1959 | "               | 7,1     | —              | —     | —   | —    | —    | —  | "                   | "               |
| 90  | 23/V 1952    | Hoover Dam      | 4,9     | 16             | —     | 6   | 0,05 | 0,11 | —  | "                   | "               |
| 91  | 11/V 1962    | Мексика         | 6,7—7,0 | 260—330        | 25—40 | 6—7 | 0,04 | 1,60 | —  | "                   | "               |
| 92  | 19/V 1962    | "               | 7,0—7,3 | 240—260        | 20—33 | 6   | 0,03 | 2,20 | —  | "                   | "               |
| 93  | 13/IX 1945   | Santiago        | 7,25    | 102            | —     | 7   | 0,13 | 0,29 | 9  | "                   | "               |
| 94  | 4/IX 1953    | "               | 6,75    | 160            | —     | 5   | 0,02 | 0,10 | —  | "                   | "               |
| 95  | 17/X 1966    | Lima            | 7,5     | 50—60<br>(235) | 38    | 7   | 0,40 | 0,10 | 13 | "                   | Аллювий         |
| 96  | 2/VIII 1952  | "               | 5,1     | 105            | —     | 5   | 0,03 | 0,20 | —  | "                   |                 |
| 97  | 10/XII 1967  | Индия (Койна)   | 6,2—7,5 | 0              | 40    | 8   | 0,41 | 0,20 | 18 | "                   | Скала           |
| 98  | 13/IX 1967   | "               | 5,0—5,2 | —              | —     | 7   | 0,16 | 0,30 | 2  | "                   |                 |
| 99  | 14/II 1956   | Япония          | 6,0     | 40             | 45    | 7   | 0,06 | 0,36 | 3  | "                   | "               |
| 100 | 29/IX 1956   | "               | 7,0     | 49             | 70    | 6   | 0,04 | 0,70 | —  | "                   | "               |
| 101 | 5/IV 1966    | Matsushiro      | 5,1     | 4              | 4     | —   | 0,43 | 0,40 | 4  | "                   | "               |



Продолжение таблицы 2

| 1   | 2          | 3 | 4   | 5  | 6  | 7 | 8    | 9    | 10 | 11             | 12    |
|-----|------------|---|-----|----|----|---|------|------|----|----------------|-------|
| 102 |            | . |     | 3  | 11 | — | 0,23 | 0,40 | 5  | Горизонтальная | Скала |
| 103 | 17/IV 1966 | . | 5,0 | 2  | 6  | — | 0,19 | 0,30 | 1  | .              | .     |
| 104 |            | . | 4,7 | 3  | 6  | — | 0,23 | 0,20 | 1  | .              | .     |
| 105 | 20/V 1966  | . | 4,9 | 3  | 6  | — | 0,23 | 0,20 | 2  | .              | .     |
| 106 |            | . | 4,9 | 4  | 6  | — | 0,17 | 0,50 | 3  | .              | .     |
| 107 |            | . | 4,9 | 4  | 6  | — | 0,24 | 0,60 | 5  | .              | .     |
| 108 | 28/V 1966  | . | 4,7 | 7  | 3  | — | 0,06 | 0,30 | 1  | .              | .     |
| 109 |            | . |     | 7  | 3  | — | 0,07 | 0,30 | 1  | .              | .     |
| 110 |            | . | .   | 2  | 3  | — | 0,38 | 0,60 | 5  | .              | .     |
| 111 |            | . | .   | 6  | 3  | — | 0,20 | 0,40 | 3  | .              | .     |
| 112 |            | . |     | 13 | 3  | — | 0,05 | 0,60 | 1  | .              | .     |
| 113 | 28/V 1966  | . | 4,7 | 4  | 3  | — | 0,13 | 0,30 | 4  | .              | —     |



# ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова Л. В., Аптикаев Ф. Ф., Курочкина Р. И., Нерсесов И. Л., Раутиан Т. Г., Халтурин В. И. Основные экспериментальные закономерности динамики сейсмических волн, 1968.
2. Кухтикова Т. И., Абрамова И. Б. Спектры ощутимых землетрясений. Сб. «Глубинное строение и землетрясения Таджикистана», Душанбе, 1968.
3. Медведев С. В. Ускорения колебаний грунта при сильных землетрясениях. Тр. ИФЗ АН СССР, № 10 (177), 1960.
4. Одишария А. В. Построение численным методом акселерограммы сейсмического движения свободной поверхности скального основания. Сб. «Сейсмостойкость сооружений», вып. 2, Тбилиси, 1968.
5. Рихтер Ч. Элементарная сейсмология, 1963.
6. «Слабые землетрясения», сб., 1961.
7. Штейнберг В. В. Некоторые результаты изучения спектров сильных землетрясений Тихоокеанской зоны.
8. Crond William, K. Perez Virgilio. Accelerograms Parkfield earthquake Bull. S.S.A. Vol. 57, № 6, 1967.
9. Kanai K. Observation of Strong Earthquake Motions in Matsushiro Area. Part 1\*. Bull. Earth. Res. Inst V 44. 1966.
10. Kenneth L. Lee and Joaguin Monge E. Effect of soil conditions on damage in the Peru earthquake of october 17, 1965. Bull. S.S.A., Vol. 58, № 3, 1968.
11. Housner G. W. Behavior of structures during earthquakes. Proc. of A.S.C.E., Vol. 85, № EM4, October 1959.
12. Muto K. Recent Trends in High Rise Building Design in Japan. TWCEE, 1965.
13. „United States Earthquakes“. U.S.D. of c. U.S.C.G. Waschington 1945—1961.
14. Cavallo R. Osservazioni sul comportamento dinamico delle strutture sottoposte cu terremoti „Energiaelettr“, 1967, 44, № 9.
15. Naraih Hari, Gupta Harih. Koyna earthquake, Nature, 1968, 217, № 5134.
16. Wadia D. N. The Koyna earthquake „J. Scient and Industr. Res“, 1967, 26, №12.