

## О ЗАВИСИМОСТЯХ УСКОРЕНИЙ КОЛЕБАНИЯ ГРУНТОВ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ. НЕКОТОРЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

© 2003 г. В. Г. Григорян

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА  
377515, Гюмри, ул. В. Саркисяна, 5, Республика Армения,  
E-mail: iges@shirak.am

Поступила в редакцию 09.07.2003 г.

В данной работе рассматриваются зависимости максимальных ускорений грунтов  $A_{max}$  от магнитуды- $M$ , расстояния- $R$  от очага при сильных землетрясениях. При этом на фоне общемировых статистических данных изучены некоторые региональные закономерности таких оценок. В итоге рекомендован аналог-модель типа  $A_{max} = \Phi(M, R)$  применительно к территории Армении.

Для наиболее объективной оценки сейсмической опасности и риска как больших территорий, так и отдельных городов, населенных пунктов и площадей особо ответственных объектов необходимо по возможности точно прогнозировать количественные параметры колебаний почвы при сильных землетрясениях [4].

Амплитудный уровень, продолжительность и спектральный состав ускорений колебаний являются важнейшими параметрами сейсмического воздействия.

Зависимости максимальных ускорений от магнитуд и расстояний исследовались многими авторами. Были предложены разные модели зависимостей  $A_{max} = \Phi(M, R)$ , суммируя которые можно выделить несколько, наиболее известные.

Модель Эстева и Розенблюта [11], где зависимость  $A_{max}$  от  $M$  и  $R$  выражается соотношением:

$$\lg A_{max} = a + bM - c \lg(R + d)$$

( $d$ -обычно принимается равной 25).

Модель Аки Ричардса, описанная в [2], имеет вид

$$\lg A_{max} = a + bM - d \lg(C_1/R^2 + C_2/R) + eR$$

Связь между ускорением,  $M$  и  $R$  модели Бура и Джойнера описывается выражением [12]:

$$\lg A_{max} = a + bM - d \lg(R^2 + C_1^2)^{C_2}$$

В модели, предложенной Кемпбеллом [10], соотношения между  $A_{max}$ ,  $M$  и  $R$  записываются в виде:

$$A_{max} = a \exp(bM) [R + C_1 \exp(C_2 M)]^{-d}$$

В монографии Э.Хачияна [9] описываются, помимо вышеприведенных, также несколько моделей, например, Милна и Девенпорта (для разных  $R$ ), Эстева и Виллаверде, Амбрасейса и Боммера и др. Последние в общем случае представляются в виде следующей зависимости:

$$\lg A_{max} = \alpha + \beta M - n_0 \lg R' + bR' + \sigma P,$$

где коэффициенты  $\alpha, \beta, n_0, b, \sigma$  для Европы, Америки и Японии имеют разные значения (данные приводятся в [9]).

Зависимости типа  $A_{max} = \Phi(M, R)$  достаточно хорошо изучены также В.В.Штейнбергом, Ф.Ф.Аптикаевым, Н.В.Шебалиным и другими.

Ф.Ф.Аптикаевым [2] выделены три зоны с различным затуханием амплитуд: очаговая, ближняя и дальняя зоны. В пределах очаговой зоны ускорение грунта не изменяется. Ускорение грунта  $A_{max}$  в ближней зоне описывается эмпирической формулой:

$$\lg A_{max} = C(0.33M - 0.61 - \lg R) + 2.23 \pm 0.16.$$

В результате анализа зависимостей максимальных единичных ускорений от магнитуд и эпицентральных расстояний В.В.Штейнбергом была предложена модель, подобная модели Кемпбелла [8]. Величина  $A_{max}$  вблизи разрыва ( $R \leq 3 \div 5$  км) в интервале магнитуд 5.5-7.5 связана с магнитудой соотношением:

$$\lg A_{max} = 770 [1 - \exp(-0.314 \cdot 3^{M-5})].$$

Интерполируя полученные значения  $A_{max}$  в интервале  $M=5.5-7.5$  и экстраполируя за ее пределами, построены графики зависимостей амплитуд максимальных ускорений от магнитуд для фиксированных расстояний  $R$ .

Графики зависимости амплитуд максимальных ускорений от магнитуд для фиксированных расстояний  $R$ , полученные В.В.Штейнбергом [8], представлены на рис.1. (графики приведены только для сдвиговых землетрясений).

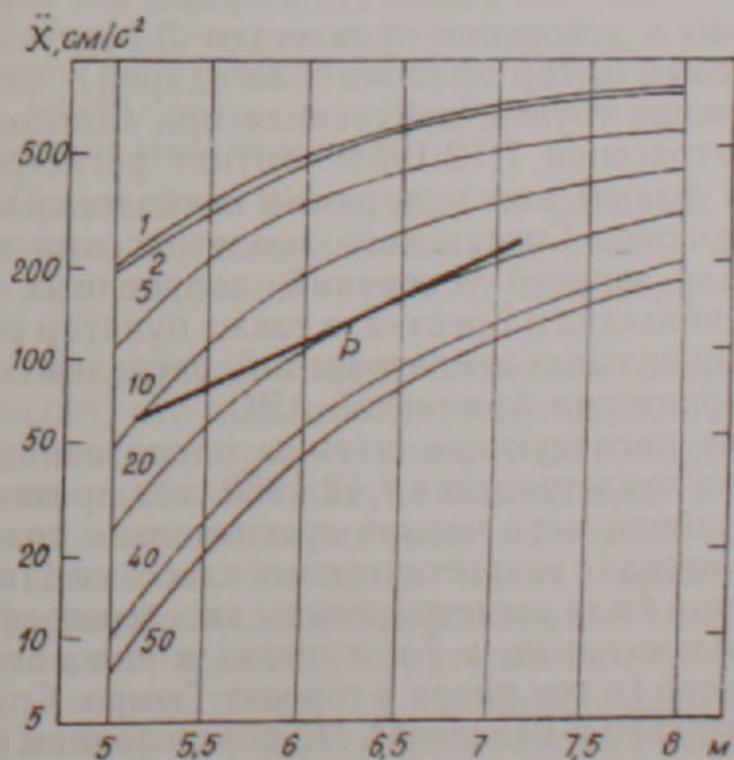


Рис.1. Сопоставление регионального графика зависимости амплитуд максимальных ускорений (кривая P) с аналогичными графиками по модели В.В.Штейнберга [8] (для фиксированных расстояний R).

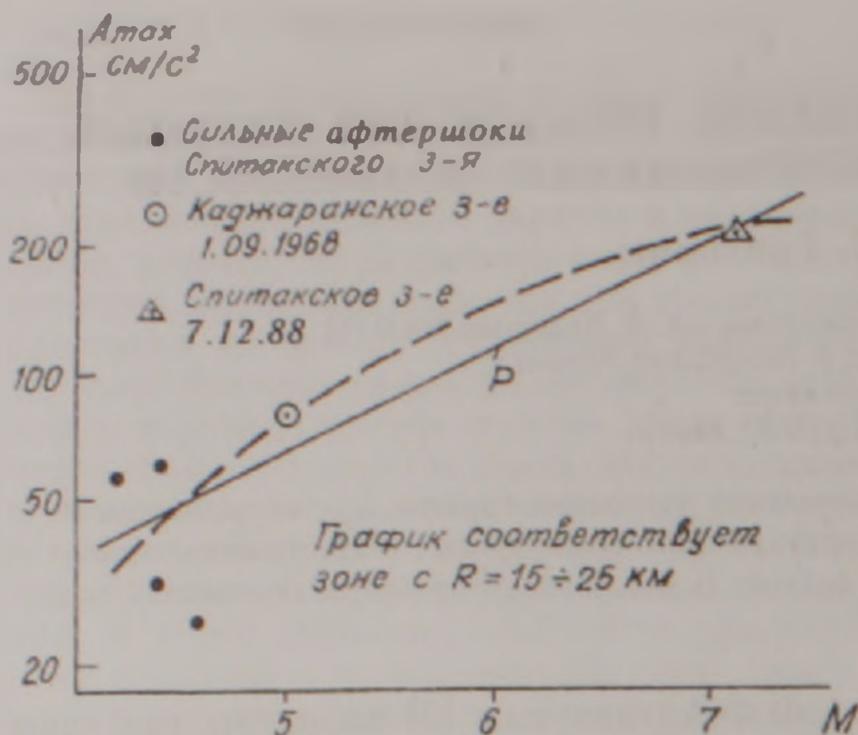


Рис. 2. График зависимости амплитуд максимальных ускорений от магнитуды по региональным данным (для расстояний  $R < 25$  км).

Относительную применимость какой-нибудь из приведенных (или вообще существующих) стандартных моделей в отношении нашего региона (территории Армении) можно будет обосновать только после возможного сопоставления и анализа всех имеющихся данных. Поэтому получение т.н. "собственных" закономерностей количественных характеристик колебаний почвы от очаговых параметров (хотя и на достаточно скудном сейсмостатистическом материале) и их сопоставление с существующими моделями имеет очень важное значение. Такой сравнительный анализ позволяет с более высокой вероятностью использовать какой-либо из приведенных моделей применительно к нашим условиям в требуемых пределах изменения параметров  $M$  и  $R$ .

К сожалению, инструментальные данные об ощутимых и сильных землетрясениях, происшедших на территории Армении, очень скудны. Для сейсмостатистической обработки использовались: запись смещения грунта при Каджаранском землетрясении 1.09.1968г. [7] (перерасчет сейсмограммы в ускорение произведен Л. Манукяном, которому автор глубоко благодарен); запись ускорения грунта, полученная при Спитакском землетрясении 7.12.1988г. (пункт регистрации пос. Гукасян), акселерограммы наиболее сильных афтершоков Спитакского землетрясения и несколько записей ускорений, полученных ИСС г. Лениакана и Еревана, а также пунктом регистрации сильных землетрясений, расположенным на территории Армянской АЭС.

За последующие месяцы после основного толчка землетрясения 7.12.1988 года произошли по крайней мере четыре сравнительно сильных афтершока (с энергетическими классами 11 и 13), которые были зарегистрированы акселерографами, расположенными в 7-и пунктах в эпицентральной зоне (в том числе в городах Гюмри, Спитак, Степанаван и Ванадзор). По определениям координат ощутимых толчков [3] устанавливались средние удаления приборов от эпицентров, из записей ускорений – основные динамические ха-

рактеристики (табл. 1). В выборки попали 16 значений ускорений (наиболее сильные компоненты в основном горизонтальные). Для каждого сейсмического события рассчитали "средний вес" ускорений по всем станциям (при фиксированных значениях  $K(M)$ ), исходя из того, что в среднем они имели почти одинаковые удаления от очагов.

Среднее  $A_{max}$  для всех четырех событий, энергия которых колеблется в пределах  $K=11$  и  $13$  ( $M=4.2-4.7$ ) по всем регистрирующим станциям, составляет  $46.3$  см/с<sup>2</sup> при стандарте отклонений 14. Распределение ускорений близнормальное и хорошо сопоставляется с графиком распределения ускорений для землетрясений интенсивностью 6 баллов по данным [5]. При этом среднее значение  $A_{max}$  для землетрясений интенсивностью 6 баллов составляет  $42$  см/с<sup>2</sup> (стандарт отклонения  $\pm 14$ ) [11].

Результаты анализа записей афтершоков Спитакского землетрясения показывают, что характеристики колебаний грунтов обусловлены инженерно-геологическими особенностями места регистрации, что особо проявилось в г. Лениакане. Следствием этого фактора являются также зарегистрированные большие ускорения в пунктах Торосгюх ( $249$  см/с<sup>2</sup>) и Налбанд ( $192$  см/с<sup>2</sup>) при сравнительно слабых толчках.

Имеющиеся значения ускорений грунтов при разных  $M$ , включая данные об основном толчке землетрясения 7.12.1988 г., а также значения ускорения землетрясения 1.09.1968 г. в Каджаране  $79.4$  см/с<sup>2</sup> (полученное из сейсмограммы расчетным путем) использованы для построения зависимости  $A_{max} = \Phi(M)$  (рис. 2). Очевидно, что статистический вес проведенной кривой очень невелик, а в промежутке (магнитуды 5.0-7.0) она проведена при практически полном отсутствии данных  $A_{max}$ . Поэтому по этим результатам нельзя сделать однозначные заключения о закономерностях рассматриваемых соотношений, применительно к нашей территории.

Аналитически она аппроксимируется выражением:

$$\lg A_{max} = 0.23M + 0.67.$$

При этом считаем, что данная оценка соответствует зоне  $R < 25$  км. Очевидно, что по мере накопления сейсмостатистического материала такие зависимости могут быть более уточнены и в результате рекомендованы в качестве региональных моделей.

С практической точки зрения представляет большой интерес сопоставление полученной зависимости с приведенными выше моделями  $A_{max} = \Phi(M, R)$ , полученными ведущими сейсмологами мира. В результате такого детального сопоставления выявлено, что наибольшее сходство в соотношениях  $A_{max} = \Phi(M, R)$  мы имеем при сравнении с моделью, предложенной В.В. Штейнбергом [8].

Таблица 1  
Основные кинематические и динамические характеристики наиболее сильных афтершоков Спитакского землетрясения

Дата землетрясения	Энергетический класс К (магнитуда М)	Глубина очага, (h) км	Число регистрирующих станций	Средние значения R и A <sub>max</sub> по всем регистрирующим пунктам	
				R, (км)	A <sub>max</sub> (см/с <sup>2</sup> )
31.12.1988	12 (4,44)	10	6	16,3	62,8
04.01.1989	12 (4,44)	5	6	20,7	32,0
08.01.1989	11,8 (3,72)	10	4	16,4	63,95
30.03.1989	12,3 (4,66)	10	2	19,0	26,5

Таблица 2  
Максимальные значения ускорений грунта при разных М для четырех диапазонов расстояний R

R (км)	M							
	A <sub>max</sub> см/с <sup>2</sup>	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	
< 5	Расчетное	100	229	380	500	575	602	
	Округленное	100	225	375	500	575	600	
5 + 10	Расчетное	79	180	318	412	525	600	
	Округленное	75	175	325	400	525	600	
10 + 15	Расчетное	75	158	251	355	457	500	
	Округленное	75	150	250	350	450	500	
15 + 30	Расчетное	44,7	80	125	175	240	300	
	Округленное	50	75	125	175	250	300	

Как видно из рис. 1, кривая зависимости (P) имеет достаточно близкий уровень с кривой для R=20км (особенно в диапазоне значений M=5.5-7.5). Следует отметить еще и то, что разброс значений A<sub>max</sub> (в таких оценках вообще) довольно значительный, достигающий 0.2-0.4 лог.ед., что связано со многими трудноучитываемыми факторами (местные грунтовые условия, механизмы очагов, направленности излучения и др.). По графикам из рис. 1. была построена кривая зависимости максимального ускорения грунта от эпицентрального расстояния, которую иначе на-

зывают кривой затухания эффекта землетрясения. При этом для продолжения правой ветви этой кривой использованы данные об ускорениях грунта, полученные в г. Ереване и на территории ААЭС во время Спитакского землетрясения (рис. 3). Важно заметить, что кривая имеет очень хорошую сходимость с аналогичными кривыми, приведенными в работе [9].

В табл. 2 приведены максимальные значения ускорений грунта при разных М для четырех диапазонов расстояния R (км). Учитывая значительный разброс в оценках A<sub>max</sub>, достигающий, как отметили выше, значений 0.2-0.4 лог.ед., в табл. 2 приведены также округленные (в пределах 0.025g) величины максимальных ускорений.

Значения A<sub>max</sub>, приведенные в табл. 2, рекомендуются для использования в практических задачах по оценке сейсмоопасности территории и площадок в условиях недостаточной инструментальной информации. Очевидно, что оценки A<sub>max</sub> осредненные и приводятся без учета грунтовых условий. Кроме того, как отметили выше, на амплитудный уровень колебаний кроме всего прочего влияет механизм подвижки в очаге.

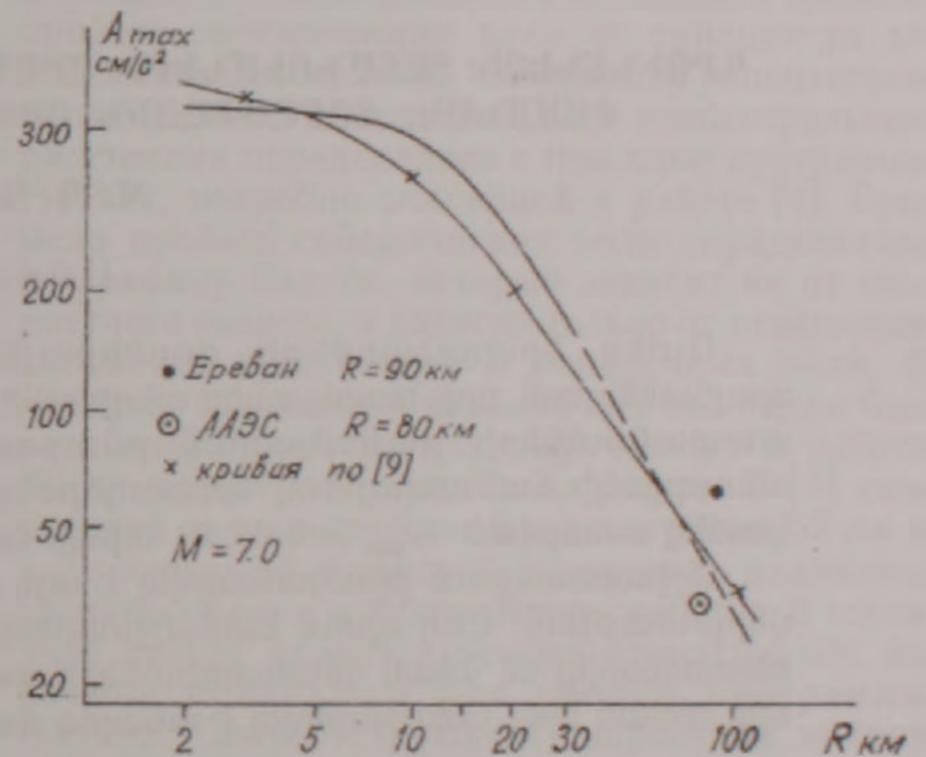


Рис. 3. Региональная кривая зависимости A<sub>max</sub> от эпицентрального расстояния. Крестиком обозначена кривая A<sub>max</sub> = Φ(R), полученная Э. Хачияном по данным Спитакского землетрясения [9].

Существует ряд работ, в которых количественно оценена зависимость уровня максимальных ускорений грунта от типа подвижки в очаге [2].

В заключение следует отметить следующее: очевидно, что только инструментальная запись (напр., акселерограмма) конкретной площадки содержит наиболее полную информацию о количественных характеристиках колебаний почвы. Очевидно и то, что такая "схема" задания информации об ожидаемой сейсмической опасности для рассматриваемых территорий или площадей пока что представляется идеализированной [6].

Поэтому приходится прибегнуть к косвенным методам, в частности, использовать накопленный инструментальный материал других сейсмоактивных регионов мира, соблюдая при этом условия сеймотектонической аналогии. Настоящая

статья посвящена именно научным и практическим аспектам этой проблемы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология, т.2. гл.14. М: Мир, 1983, с. 777-800.
2. Алтикаев Ф.Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. докт. ф.-м. н. М.: 2001, 47 с.
3. Арефьев С.С., Татевосян Р.Э., Парини И.Е. и др. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988г.: Сейсмологические исследования. Вопросы инж. сейсм., вып. 31, М.: Наука, 1990, с.4-35.
4. Григорян В.Г., Овсепян А.А. Ретроспективная оценка сейсмического риска территории г. Гюмри (до землетрясения 7. 12. 1988г.). Сб. научных трудов конф., посв. памяти А. Бабалджаняна, 12-14 окт. 1999. Гюмри: Изд-во "Гитутюн", 1999, с.270-280.
5. Назаров А.Г., Дарбинян С.С. Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1974, 165 с.
6. Назаров А.Г. Основная проблема инженерной сейсмологии. Бюллетень по инженерной сейсмологии, №8, Ереван: Изд. АН АрмССР, 1973, с.5-9.
7. Рустанович Д.Н. Колебания поверхности Земли в эпицентральных зонах сильных землетрясений. М.: "Наука", 1974, 97 с.
8. Штейнберг В.В. Параметры колебаний грунтов при сильных землетрясениях. Детальные инженерно-сейсмологические исследования. Вопросы инж. сейсм., вып.27. М.: Наука, 1986, с.7-22.
9. Խաչիյան Է. Կիրառական երկրաշարժագիտություն. Երևան, ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատարակչություն, 2001թ., 311 էջ:
10. Campbell K. Near source attenuation of peak horizontal acceleration. Ibid. P.20039-20070.
11. Esteva L., Rosenblueth E. Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes. Soc. Mexic. Ingen. Seismol. Bull. 1964, vol.2 p. 1-18.
12. Ioyner W., Boore D. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records, including records from the 1979 Imperial Valley California earthquake. Bull. Seismol. Soc. Amer. 1981. Vol. 71, # 6. p.2011-2038.

## ԳՐՈՒՆՆԵՐԻ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԱՐԱԳԱՅՈՒՄՆԵՐԸ ՈՒԺԵՂ ԵՐԿՐԱՇԱՐՇԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ: ՏԱՐԱԾՔԱՅԻՆ ՈՐՈՇ ԱՌԱՆՉՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Վ. Գ. Գրիգորյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Ուժեղ երկրաշարժերի գործիքային գրանցումների զգալի սակավության պայմաններում, որը հատկապես տեղի ունի Հայաստանի տարածքի համար, գրունտների տատանումների քանակական բնութագրերի գնահատումները կատարվում են անուղղակի ճանապարհով՝ օգտագործելով աշխարհի առաջատար սեյսմաբանների կողմից ստացված  $A_{max} = \Phi(M, R)$  տիպի մոդելներ:

Աշխատանքում իրականացվել է այդ տիպի մի շարք մոդելների համեմատական վերլուծություն: Ընդ որում համաշխարհային վիճակագրական տվյալների ֆոնի վրա հետազոտվել են նման գնահատումների տարածքային որոշ առանձնահատկություններ, որի հիման վրա առաջարկվել է անալոգ մոդել:

## GROUND VIBRATION ACCELERATIONS IN STRONG EARTHQUAKES: SOME OF REGIONAL DISTINCTIVE FEATURES

V. G. Grigoryan

Abstract

The paper considers dependence of peak ground accelerations  $A_{max}$  on magnitude  $M$ , and on distance from source  $R$  in strong earthquakes. Some of regional regularities of these estimates are studied against the background of global statistical data. As a conclusion, an analog-model of  $A_{max} = \Phi(M, R)$  type, applicable for the territory of Armenia, is recommended.