

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О.Ю. ШМИДТА

# КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

Выпуск 32

Сборник научных трудов



---

МОСКВА "НАУКА"

1991

22. Чернов Ю.К. Вероятностные оценки сейсмической опасности при сейсмическом микро-районировании п. Газли // Оценка эффекта сильных землетрясений. М.: Наука, 1989. С. 72—81 (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 30).
23. Лятхер В.М., Фролова Н.И. Вероятностные задания сейсмических воздействий // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1980. № 7. С. 35—46.
24. Faccioli E., Ramirez J. Earthquake response of nonlinear hysteretic soil systems // Intern. J. Earthquake Eng. Struct. Dyn. 1976. Vol. 4. P. 261—276.
25. Ковшов А.Н. О колебании поверхностного упруго-пластического грунта // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1981. № 8. С. 55—61.
26. Фаччиоли Э., Резендиц Д. Динамика грунтов // Сейсмический риск и инженерные решения. М.: Недра, 1981. С. 66—128.
27. Салганик М.П. О моделировании сейсмических воздействий на строительные сооружения // Сильные землетрясения и сейсмологические воздействия. М.: Наука, 1987. С. 157—173 (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 28).
28. Салганик М.П., Громов Н.Е., Штейнберг В.В. Синтезированные акселерограммы для имитации сейсмических воздействий интенсивности 7, 8 и 9 баллов // Там же. С. 174—184.
29. Ризниченко Ю.В., Сейдузова С.С. Спектрально-временная характеристика сейсмической опасности. М.: Наука, 1984. 180 с.
30. Ванмарке Э.Х. Реакция сооружений на землетрясения // Сейсмический риск и инженерные решения. М.: Недра, 1981. С. 256—300.
31. Ньюмарк Н., Розенблут Э. Основы сейсмического строительства. М.: Стройиздат, 1980. 344 с.
32. Федякова С.Н. Оценка параметров землетрясений средней интенсивности и прогнозирование их в область сильных движений // Сильные землетрясения и сейсмические воздействия. М.: Наука, 1987. С. 185—200 (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 28).

УДК 550.343.4624.042.7

А.А. Гусев

## О НЕОБХОДИМОСТИ КОРРЕКТИРОВКИ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ АНТИСЕЙСМИЧЕСКИЕ МЕРЫ В СССР

Действующие в СССР на 1989 г. нормативные документы по вопросам сейсмостойкости — это Строительные нормы и правила (СНиП П—7-81) [1] и входящая в них карта общего сейсмического районирования (ОСР), составленная АН СССР в 1978 г. (карта ОСР-78) [2]. Внимательный анализ позволяет выявить некоторые существенные слабые места этих документов. Ниже детально рассмотрен вопрос о резких различиях вероятности разрушения сейсмических зданий, которые возводятся в разных районах СССР (точнее, в разных зонах карты ОСР-78) согласно действующим нормативам. Такие различия обуславливают разную степень угрозы жизни населения; причиной этих различий является некорректный способ учета в нормах повторяемости сотрясений. Я считаю, что это — наиболее существенный из дефектов норм.

Есть и другие элементы норм, которые, на наш взгляд, нуждаются в корректировке; они упомянуты в статье для полноты картины, но далее не рассмотрены. Это вопросы об учете грунтовых условий и об отсутствии явного указания на школы, больницы и т.п. как на объекты дополнительного усиления.

Об учете грунтовых условий. В действующих нормах приняты значения коэффициентов 2 и 0,5 к максимальному ускорению при переходе от грунта категории II (средней) к категориям III и I. Эти значения коэффициентов противоречат большому экспериментальному материалу мировой инженерной сейсмологии [3]. Ближе к истине предположение о постоянстве максимального ускорения на всех грунтах (однако коэффициенты 2 и 0,5 вполне применимы к максимальной скорости). Результатом существующего положения является относительно заниженная прочность застройки, возводимой на грунтах категории I.

Об объектах, требующих дополнительного усиления. В действующих нормах неспецифицированы явно виды сооружений, для которых необходимо дополнительное усиление. Решение переложено на министерства и местные Советы. Это представляется недопустимым в отношении таких сооружений, как школы, больницы, детсады, поликлиники, вокзалы и аэропорты, а также источники повышенной опасности: склады горючих и ядовитых веществ и все объекты котлонадзора.

Исправление перечисленных дефектов норм существенно увеличило бы эффективность затрат на антисейсмические меры и безопасность населения. В основной части статьи демонстрируется наличие первого из трех упомянутых здесь дефектов норм и предложены способы его устранения.

**Сравнительные оценки риска для жизни при сейсмостойкой застройке. Постановка задачи и выбор закона повторяемости сотрясений.** Для оценки правильности выбора антисейсмических мер в конкретных условиях следует использовать некоторый критерий. Обычно в подобных случаях применяются два основных вида критериев: на основе оценки риска (вероятности) гибели населения и на основе экономической оценки с учетом соотношения затрат и предотвращенного ущерба. С нашей точки зрения, первый критерий следует считать основным, так как обеспечение безопасности населения — главная задача антисейсмических мер. Известный принцип сбалансированного риска в применении к данному случаю требует выполнения двух требований. Во-первых, уровень риска гибели от землетрясения (выраженный, например, через вероятность гибели в течение года) должен быть снижен до некоторого предела, принятого за приемлемый. Этот предел определяется как сравнимый или более низкий уровень, чем риск гибели от иных, "обычных", причин. Во-вторых, должно выполняться условие, чтобы риск гибели от землетрясения был примерно одинаковым во всех сейсмоопасных районах.

Что касается первого требования, то мы не будем детально рассматривать его и вообще обойдем вопрос об абсолютном уровне риска. Мы исходим из предположения, что фактический уровень риска для населения, живущего в сейсмостойких зданиях, построенных в расчете на землетрясение с периодом повторяемости 1000 лет, как раз и является минимально приемлемым уровнем риска. Для такой позиции есть следующие основания.

1. Фактическая повторяемость для 8- и 9-балльных зон предыдущей карты ОСР-69 равна 1 раз в 800 и 1200 лет [4, с. 14]. Принципы составления этой карты не оспаривались.

2. Сображения сбалансированности риска, развитые за рубежом и с одобрением цитируемые в [2, с. 7], рекомендуют в качестве приемлемого периода повторяемости расчетного землетрясения в интервале 400—1500 лет.

3. Для инженерных сооружений повторяемость опасного толчка 1 раз в 1000 лет означает вероятность аварии 5% при сроке службы 50 лет; это — разумный инженерный риск для случаев, не грозящих тяжелыми последствиями.

Основная часть данной статьи посвящена вопросу о выполнении второго требования — равномерности риска. Автор полагает, что обеспечение равномерности риска — одно из главных условий правильности учета сейсмологической информации в строительных нормах.

Не ясно, в какой мере составители ОСР-78 и СНиП II—7-81 ставили перед собой задачу обеспечения равномерности риска. Во всяком случае соответствующие оценки автору неизвестны. По-видимому, не проверялась равномерность и для экономических критериев. Ниже мы попытаемся в первом приближении получить оценки риска, а затем сопоставить их для разных зон карты ОСР-78.

Ясно, что для нашей цели совершенно необходимы численные значения частоты, или повторяемости сотрясений. Повторяемость впервые появилась имен-

но как элемент карты ОСР-78 и в СНиП II—7-81. К сожалению, до сих пор не было предложено способа определения по данным карты ОСР-78 повторяемости толчков более сильных, чем номинальный (расчетный) балл зоны (т.е. 9- и 10-балльных толчков в 8-балльной зоне и т.п.). Предполагалось, по-видимому, что, например, в Спитаке, где повторяемость 7-балльных толчков 30—300 лет, повторяемость 8- и 9-балльных толчков пренебрежимо мала. Можно думать, что в большинстве случаев такое предположение не соответствует действительности. Отсутствие какой-либо рекомендуемой процедуры оценки повторяемости толчков с балльностью выше расчетной создает принципиальные затруднения при попытке корректно оценить качество карты сейсморайонирования.

Чтобы детально изучить возникающую ситуацию, необходимо обсудить проблему выбора корректного закона повторяемости сотрясений. Под таким законом мы понимаем зависимость плотности потока событий "фактическая балльность  $I'$  равна или превышает  $I$ " от  $I$ . Эта величина одновременно есть годовая вероятность  $p$  толчка с  $I' \geq I$ :

$$p(I) = Pr(I' \geq I).$$

Эта величина совпадает с сотрясаемостью по Ю.В. Ризниченко [2, с. 65]. К сожалению, Ю.В. Ризниченко и составители карты ОСР-78 мало уделяли внимания эмпирическому закону  $p(I)$ , в результате даже в тех случаях, когда можно сравнить зоны карты и эмпирические  $p(I)$ , налицо ряд расхождений. Так, Нахичевань попала в зону  $8_2$ , хотя за 1200 лет отмечено восемь толчков с  $I \geq 8$  [5, с. 72; аналогична ситуация с пунктом Джавахети [2, с. 67].

В этих условиях мы предприняли попытку определить ориентировочно диапазон возможных законов  $p(I)$  в области 7—10 баллов. Собранные эмпирические данные разнородны и часто не вполне надежны, однако они обозначают в конечном счете достаточно узкий диапазон вариантов. Основная проблема в том, что зависимость  $p(I)$  не имеет обычного экспоненциального характера (например, вида  $p(I) \sim 10^{-\beta I}$ ). Поэтому, если в рамках этой модели попытаться оценить параметр  $\beta$  в области низких баллов (где это легко сделать), то перенос этой оценки на высокие баллы приводит к грубым ошибкам. Такое явление закономерно, оно связано с тем, что при низких баллах закон  $p(I)$  тесно связан с законом  $p(M)$  Гутенберга—Рихтера (график повторяемости) и воспроизводит экспоненциальный характер последнего. При высоких же баллах основную роль играют другие факторы. Один из них — разброс амплитудных параметров очагового излучения при фиксированной магнитуде. Закон распределения для амплитуд обычно близок к логнормальному; это ведет к загибу графика  $p(I)$  в логлинейном масштабе в области значений  $I$ , соответствующих "максимальной магнитуде"  $M_{\max}$ . Правее загиба аппроксимация экспоненциальным законом ведет к некоторому завышению оценок, которое не будет слишком резким, если параметр  $\beta$  оценивать в области высоких баллов. К этому мы стремились при подборе эмпирических данных.

Эмпирические оценки для параметра  $\beta$  экспоненциального закона, построенные в соответствии с этими требованиями, сведены в табл. 1. Поясним, что при росте балла на единицу частота толчков падает в  $10^{\beta}$  раз. Значения  $\beta$  и в диапазоне  $I = 0,7+0,8$  наиболее типичны (см. табл. 1), поэтому для дальнейших расчетов были выбраны два варианта параметра  $\beta$ : предельно большой  $\beta = 1$ , что дает снижение частоты сотрясений в  $K = 10$  раз на балл, и  $\beta = 0,7$ , что несколько ниже среднего и дает  $K = 5$ . Использование  $K = 10$  может компенсировать неучет загиба графика.

Важен также вопрос о том, до каких максимальных значений балла законна подобная аппроксимация; но для ответа на него нет хороших эмпирических данных. Здесь возможны теоретические подходы на основе, например, упомя-

Эмпирические оценки параметра  $\beta$  закона повторяемости сотрясений в области больших баллов

Пункт	$I$	$\beta$	Источник	Пункт	$I$	$\beta$	Источник
Ялта	6—7	0,6	[5, с. 39]	Алаверди	7—8	0,78	-
Шемаха	8—9	0,77	[5, с. 72]	Мехико	8—9	1,00	[6, с. 57]
Алма-Ата	7—9	0,4	[5, с. 112]		7—8	0,52	-
Петропавловск-Камчатский	7—9	0,75	[5, с. 153]		7—9	0,75	-
Усть-Камчатск	7—9	0,80	5, с. 170]	Хатинохе	8	0,78	[7]
Тбилиси	7—8	0,81	[2, с. 67]	Нагоя	8	0,70	-
Джавахети	7—8	0,68	-	Токио	7	0,55	-

нутаго логнормального закона для амплитуд колебаний, что нельзя назвать достаточно надежным методом. В этих условиях мы сочли возможным для расчетов просто обрезать распределение  $p(I)$  на некотором предельном балле  $I_{\max}$ . Соотношение между расчетным баллом сейсмической зоны  $I_p$  и величиной  $I_{\max}$  задавалось в виде  $I_{\max} = I_p + M$ , т.е. например, при  $M = 1$  в зоне расчетного балла  $I_p$  допускаются толчки силы  $I_p + 1$ , но никогда не бывает толчков силы  $I_p + 2$ . Это, по видимому, в обычных случаях слишком оптимистическая позиция. В другом, более реалистическом, на наш взгляд, варианте полагали  $M = 2$ ; это разумное предположение для большинства зон, но оно может быть слишком пессимистично для зон с повторяемостью 10 000 лет.

Таким образом, в дальнейших расчетах мы использовали четыре варианта закона повторяемости сотрясений, меняя независимо параметры  $K = 5$  и  $10$  и  $M = 1$  и  $2$ . Дополнительно предполагали, что вероятность 11- и 12-балльных толчков равна нулю.

На основе описанной модели повторяемости сотрясений далее проводятся расчеты годовой вероятности обвала сейсмостойких зданий, построенных в соответствии с действующими нормами, в предположении, что зональность на карте ОСР-78 является правильной. Поскольку при наличии обвала вероятность гибели находящегося в здании человека составляет десятки процентов, а априорная вероятность нахождения человека в здании также велика, полученные вероятности обвала не сильно отличаются от вероятностей гибели, которые в конечном счете и определяют уровень риска.

Расчеты годовой вероятности обвала сейсмостойких зданий в условиях разных зон карты ОСР-78. Расчеты годовой вероятности обвала для застройки, формирующейся на основе СНИП II—7-81, для разных зон карты ОСР-78, проводились в два этапа. На первом определяли вероятность обвала  $p(\text{об} | I_p, j, I_\Phi)$  сейсмостойких зданий, построенных согласно требованиям для зоны  $I_j$ , (т.е.  $I \equiv I_p$  — расчетный балл;  $j$  — индекс повторяемости) при землетрясении фактической балльности  $I_\Phi$ . Напомним, что при  $j = 1, 2$  или  $3$  средний период повторяемости равен 100, 1000 или 10 000 лет. Вероятности рассчитывали, исходя из следующих соображений.

1. Обвал здания (без которого гибель людей относительно маловероятна) происходит, когда степень повреждения  $d$  конкретного здания превышает некоторую пороговую величину  $d_{\text{об}}$ . Здесь и далее степень повреждения определяется согласно [8, 9]. Напомним, что  $d = 0$  означает отсутствие повреждений,  $d = 1, 2, 3$  — легкие, умеренные и тяжелые повреждения,  $d = 4$  — разрушения,  $d =$

= 5 — обвалы. Поскольку далее  $d$  трактуется как непрерывная переменная, в качестве порога принято  $d_{об} = 4, 5$ .

2. Средние степени повреждения  $\bar{d}$  сейсмостойких зданий можно найти таким образом. Степень повреждения здания, рассчитанного на нагрузку балла  $I_p$ , при толчке фактического балла  $I_\Phi = I_p$  равна  $\bar{d}_0$ . Далее предполагался рост (или спад)  $\bar{d}$  на фиксированную величину  $h$  при увеличении (или уменьшении)  $I_\Phi$  на  $h$ , так что

$$\bar{d} = d_0 + h(I_\Phi - I_p).$$

3. В оценках предыдущего пункта неявно предполагался фиксированный индекс повторяемости  $j$ . Удобно принимать за опорное значение  $j = 2$ , так как при этом параметр  $m_{кр}$  в СНиП—7-81 принимает значение 1,0. Другие значения  $j$  и  $m_{кр}$  можно учитывать путем соответствующего изменения  $\bar{d}$ . Значения  $m_{кр} = 0,85$  и 1,15 из СНиП (при  $j = 1$  и  $j = 3$ ) меняют логарифм расчетной нагрузки на  $\pm 0,07$ . Расчетный балл пропорционален логарифму расчетной нагрузки с коэффициентом 3,3, так что его изменения составляют  $\pm 0,23 \approx \pm 0,2$ . Рост расчетного балла на единицу снижает  $\bar{d}$  также на  $h$ ; таким образом, значения  $d$  по п.2 следует уменьшить на  $0,2h$  при  $j = 1$  и увеличить на  $0,2h$  при  $j = 3$ . Итак, окончательно полагаем

$$\bar{d}(I_p, j, I_\Phi) = \bar{d}_0 + h(I_\Phi - I_p + 0,2(2 - j)).$$

4. Чтобы определить вероятности обвала  $p(об | I_p, j, I_\Phi)$ , можно исходить из нормального распределения для случайной фактической степени повреждения  $d$  со средним  $\bar{d}$  и дисперсией  $\sigma_d^2$  [10]. При этом

$$p(об | I_p, j, I_\Phi) = \Phi((\bar{d} - d_{об}) / \sigma_d),$$

где  $d_{об} = 4,5$  по п.1,  $\bar{d} = \bar{d}(I_p, j, I_\Phi)$  описана в п.3, а  $\Phi$  — функция нормального закона.

5. Относительно численного значения параметра  $\bar{d}_0$  источники дают разные рекомендации. Так, согласно [8, с. 101],  $\bar{d}_0 \approx 1,4 + 2,1$ , в то же время по [9, 11]  $\bar{d}_0 = 0,6 + 0,8$ . Согласно [12], для крупнопанельных зданий  $\bar{d}_0 \approx 1,65$ . Мы примем  $\bar{d}_0 = 1$  для расчетных целей; уточнение этого параметра качественно не изменит сделанных выводов.

6. Численное значение параметра  $h$ , по-видимому, должно бы быть равно единице согласно структуре сейсмической шкалы; таблицы в работах [8, 9, 11] в общем соответствуют этому предположению. Однако по [12]  $h = 0,5 + 0,7$  для крупнопанельных зданий. Полагая, что это отличие отражает их специфически высокую сейсмостойкость [12], примем  $h = 1$ .

7. Параметр  $\sigma_d$  с учетом [10, 12] можно принять равным единице. Отметим, что выбор  $\sigma_d = 1$ ,  $\bar{d}_0 = 1$  дает для вероятности превышения уровня  $d = 3,2$  значение  $p = 1,4\%$  (при выборе  $\sigma_d = 2$ ,  $p = 11,5\%$ ). Уровень  $d = 3,2$  означает [13] предельную допустимую степень повреждения; соответствие верхнему 1,4%-ному квантилю разумно.

Расчеты  $p(об)$ , проведенные на основе перечисленных предположений, дали оценки, указанные в табл. 2, что и завершило первый этап расчетов.

На втором этапе определяли годовую вероятность обвала от толчков всех баллов согласно формуле

$$p(об | I_p, j) = \sum_{I_\Phi} p(I_\Phi | I_p, j) p(об | I_p, j, I_\Phi)$$

## Вероятность обвала сейсмостойких зданий

Расчетная балльность	Фактическая балльность				Расчетная балльность	Фактическая балльность			
	7	8	9	10		7	8	9	10
7 <sub>1</sub>	0,00011	0,0035	0,045	0,24	8 <sub>3</sub>	0	0,00050	0,011	0,10
7 <sub>2</sub>	0,00025	0,0062	0,067	0,31	9 <sub>1</sub>	0	0	0,00011	0,0035
7 <sub>3</sub>	0,00050	0,011	0,10	0,38	9 <sub>2</sub>	0	0	0,00025	0,0062
8 <sub>1</sub>	0	0,00011	0,0035	0,045	9 <sub>3</sub>	0	0	0,00050	0,011
8 <sub>2</sub>	0	0,00025	0,0062	0,067					

для всех комбинаций (расчетный балл  $I_p$  — индекс повторяемости  $j$ ). Здесь  $p(I_\Phi | I_p, j)$  — годовая вероятность толчка балла  $I_\Phi$  в произвольной точке зоны  $(I_p, j)$  карты ОСР-78. При расчете  $p(I_\Phi | I_p, j)$  предполагалось следующее.

1. Частота толчков с балльностью  $I_\Phi$ , равной расчетной балльности  $I_p$ , соответствует индексу карты.

2. Частота толчков с балльностью  $I_\Phi$  выше расчетной снижается в  $K$  раз при росте  $I_\Phi$  на единицу.

3. Частота толчков с балльностью, превышающей  $I_p + M$ , равна нулю.

4. Частота 11- и 12-балльных толчков равна нулю.

5. Толчки с балльностью ниже расчетной ведут к обвалу с вероятностью нуль.

Расчеты  $p(I_\Phi | I_p, j)$  были проведены для  $K = 5$  и  $10$ , и для  $M = 1$  и  $2$ . Можно полагать (см. выше), что тем самым перекрывается почти весь диапазон возможных вариаций этих параметров.

Результаты расчетов  $p(I_\Phi | I_p, j)$  сведены в табл. 3 для названных четырех комбинаций  $K$  и  $M$  (при  $I_p = 9$  значение  $M = 2$  дает ненулевую вероятность для  $I_\Phi = 11$ , что по предположению исключено; поэтому соответствующие позиции табл. 3 пустые). Рассмотрение табл. 3 показывает, что соотношение оценок риска между разными зонами карты ОСР-78 практически не зависит от выбора комбинации  $K, M$ . Поэтому в основном тексте оставлено  $K = 10, M = 1$ . Данные по остальным комбинациям не дают новой информации по интересующему нас вопросу о неравномерности риска.

Коснемся вопроса о степени надежности оценок. Нельзя не отметить, что абсолютные оценки варьируют при фиксированном  $(I_p, j)$  всего в пределах 6 раз для разных пар  $K, M$ . Это достаточно узкий диапазон для абсолютных оценок. Что же касается отношений оценок для разных  $j$  (которые дают информацию об относительном риске), то они при разных предположениях о  $K$  и  $M$  меняются в пределах 15%. Неопределенность исходной функции  $d(I_p, j, I_\Phi)$  может в известной мере исказить абсолютные оценки риска; но ее влияние на отношения оценок риска, как показали более обширные расчеты, не является сколько-нибудь существенным.

Может возникнуть вопрос о степени корректности применения нормального закона для  $d$  в области "хвостов" распределения. Так, в [11, с. 152] приводится нулевая вероятность обвала при  $I_\Phi = I_p$ . Данный вопрос в известной мере действительно проблематичен. Тем не менее, даже допустив, что обвал при  $I_\Phi = I_p$  невозможен, и внося соответствующие изменения в оценки табл. 3, мы не изменим общего вывода о резких различиях относительного риска при разных значениях индекса повторяемости.

В связи с изложенным могут возникнуть сомнения также и относительно

Годовые вероятности обвала ( $\cdot 10^{-7}$ ) сейсмостойких зданий

Индекс повторяемости	Вариант расчета		Расчетный балл		
	К	М	7	8	9
<i>j</i>					
1	10	1	46	46	46
	10	2	91	91	—
	5	1	81	81	81
	5	2	260	260	—
2	10	1	9	9	9
	10	2	16	10	—
	5	1	15	15	15
	5	2	42	42	—
3	10	1	1,6	1,6	1,6
	10	2	2,6	2,6	—
	5	1	2,7	2,7	2,7
	5	2	6,7	6,7	—

правильности самих величин  $I_p, j$  на карте ОСР-78. На наш взгляд, этот вопрос не является принципиальным в данном конкретном контексте. Иначе придется считать, что (вероятное) наличие неточностей в исходной информации дает основания к тому, чтобы планирование с использованием этой информации велось некорректным образом. Такая точка зрения недопустима. Вообще говоря, вопрос о надежности карты ОСР-78 стоит реально, мы коснемся его ниже.

Сравним теперь величины в табл.3 при фиксированных значениях расчетного балла  $I_p$  и при разных значениях индекса повторяемости  $j$ . Оказывается, что оценки вероятности резко, в 30—40 раз, падают при переходе от  $j=1$  к  $j=3$ . В то

же время при фиксированном  $j$  вероятности при разных  $I_p$  совпадают. Ориентировочные экономические оценки предотвращенного ущерба выявляют столь же резкие различия и в значениях этой величины. При этом само значение предотвращенного ущерба в основном заметно ниже затрат. Это указывает на тот известный факт, что антисейсмические меры могут не быть вполне обоснованными с чисто экономической точки зрения, и подтверждает наш исходный тезис, что в данной проблеме подход с точки зрения риска (а не экономического) должен быть основным. В заключение отметим, что неравномерность риска связана с неверным учетом повторяемости сотрясений. Это означает, в частности, что исправить положение можно путем замены набора величин  $m_{кр}$  на более подходящий.

Сформулируем выводы данного раздела.

1. Рассчитанные нами вероятности обвала сейсмостойких зданий, близкие к вероятностям гибели человека (т.е. к величинам риска), различаются в разных зонах карты ОСР-78 в пределах полутора порядков. Экономические оценки эффекта антисейсмических мер варьируют столь же резко.

2. Выраженная неравномерность риска связана исключительно с различием риска в зонах разной повторяемости. В зонах с индексом повторяемости 1 риск в 30—40 раз выше, чем в зонах с индексом повторяемости 3. По зонам разной расчетной балльности риск равномерен.

Автор полагает, что правильная комбинация строительных норм и карты районирования должна обеспечивать, во-первых, приемлемый уровень среднего риска для жизни и, во-вторых, примерное постоянство этого риска по территории. Можно уверенно утверждать, что второму требованию действующая в 1989 г. комбинация норм и карты не удовлетворяет. Поэтому, если исходить из довольно обоснованной предпосылки, что уровень риска в условиях расчетной повторяемости 1000 лет является приемлемым, приходим к выводу, что в зонах с расчетной повторяемостью 100 лет он неприемлемо высок.

**О путях устранения резкой неравномерности степени риска.** Если описанную выше ситуацию резкой неравномерности риска считать нетерпимой, то следует рассмотреть вопрос о путях улучшения положения, не стремясь при



этом пока к идеальному решению. Один из простых вариантов — изменить значение параметра  $m_{кр}$  в СНиП II—7-81. Предлагается конкретное изменение — ввести набор  $m_{кр} = (0,5; 1; 2)$  для значений индекса повторяемости  $j = 1, 2, 3$  (в настоящее время действует набор  $m_{кр} = (0,85; 1,0; 1,15)$ ). С точки зрения сейсмолога, это предложение удобнее сформулировать иначе, а именно следует ввести набор коэффициентов за повторяемость к сейсмической нагрузке  $k$  ( $m_{кр} = (2; 1; 0,5)$ ), после чего во всех зонах карты ОСР-78 переход к периоду повторяемости 1000 лет (индекс  $j = 2$ ) осуществляется путем следующих замен:  $7_1 \rightarrow 8_2, 8_1 \rightarrow 9_2, 7_3 \rightarrow 6, 8_3 \rightarrow 7_2, 9_3 \rightarrow 8_2$ . Судьбу зоны 9<sub>1</sub> следует обсуждать особо.

Вопрос о поправочных коэффициентах к нагрузке за повторяемость изучался ранее. Так, в [14] анализ проведен на основе представления, что при заданном значении  $I_p$  максимальная нагрузка распределена по логнормальному закону. При этом для нашего параметра  $K$  получается диапазон 5—30, а для коэффициентов к нагрузке относительно  $j = 2$  получаются диапазоны  $k = 1,58 + 2,51$  для  $j = 1$  и  $k = 0,40—0,63$  для  $j = 3$ . Таким образом, при принципиально ином подходе результаты практически совпадают с нашими. В [14] для оценки закона распределения нагрузок при фиксированном  $I_f$  используется наблюдаемое распределение при фиксированном  $I_p$ , что является спорным.

В [12] предлагаются коэффициенты 1,31 для  $j = 1$  и 0,64 для  $j = 3$ . Они получены на основе данных об определенном типе "медленно разрушающихся" (крупнопанельных) зданий и несопоставимы поэтому с приведенными выше. В общем, наше предложение не является радикальным.

Для случая принятых нами изменений мы снова рассчитали годовые вероятности обвала сейсмостойких зданий (табл. 4) в двух вариантах. В первом варианте значение предельного балла  $I_{max} = I_p + M$  базировалось на  $I_p$  по карте ОСР-78, во втором значение  $I_p$  получалось путем изложенной замены  $7_1 \rightarrow 8_2$  и т.д. Расчет производился по предложенной выше схеме, как и при расчете табл. 1. При этом для "старой" зоны 7<sub>3</sub>, переходящей в зону 6, приняли несейсмостойкую застройку класса Б шкалы MSK-64, а для "старой" зоны 9<sub>1</sub> — застройку на 9 баллов (9<sub>2</sub>).

Анализ табл. 4 показывает, что степень равномерности риска теперь существенно улучшится. Исключая зоны 7<sub>3</sub> и 9<sub>1</sub>, она меняется не более чем в 5 раз. Зона 7<sub>3</sub>, по-видимому обоснованно, переходит в 6-балльную; там риск оказывается существенно ниже, чем в 7—9-балльных зонах. Аномально опасной оказывается зона 9<sub>1</sub>, чего и следовало ожидать; ситуация здесь требует особого рассмотрения. Что же касается остальных зон, то достигнутая степень равномерности риска намного лучше, чем приведенная в табл. 1; во втором варианте расчета она является идеальной. Реальный результат зависит, конечно, от степени выполнения сделанных предположений. Тем не менее данные расчеты явно указывают на целесообразность перехода к модифицированному варианту карты ОСР-78 (назовем его ОСР-78А), который приведен к фиксированной повторяемости 1000 лет путем выбора единого условного значения  $K = 10$ , что и обуславливает описанные замены  $7_1 \rightarrow 8, 7_2 \rightarrow 7$  и т.д.

Обсудим теперь проблему зоны 9<sub>1</sub>, в которую входят на карте ОСР-78 восточное побережье Камчатки и Курилы. Эмпирические оценки повторяемости 9-балльных толчков для Усть-Камчатска (средний грунт) и Петропавловска-Камчатского составляют 200—300 лет, так что индекс 1 здесь является законным, но величина периода повторяемости  $T = 100$  лет несколько завышена. Значение  $T = 250$  лет ведет к оценке риска в 4 раза более высокой, чем в зоне 9<sub>2</sub>. Рассуждая формально, для выравнивания степени риска следует в рамках сделанных предположений вести расчет сооружений на нагрузку, соответствующую 9,6 балла. По существу же вопрос не столь ясен. Следует, в частности, учитывать, что разрушение от горизонтальной силы при таких сильных толчках может быть

Годовые вероятности ( $\cdot 10^{-7}$ ) обвала сейсмостойких зданий после предлагаемой корректировки норм по двум вариантам расчета

Индекс повторяемости по карте ОСР-78	Расчетный балл по карте ОСР-78		
	7	8	9
1	2,5/9 (8)	2,5/9 (9)	90/90 (?)
2	9/9 (7)	9/9 (8)	9/9 (9)
3	3,2/0,9 (6)	15/9 (7)	15/9 (8)

Приложение. Варианты расчета: 1 — замена набора  $m_{кр}$ ; 2 — переход к повторяемости 1000 лет. Результаты по вариантам 1 и 2 даны через дробь. В скобках — "новый" балл при варианте 2.

не единственным способом разрушения. Не менее опасна неравномерная осадка фундамента, большие перемещения, накопления повреждений при частых 7—8-балльных толчках. Данный вопрос требует проработки специалистами-инженерами. Так или иначе выделение особой зоны 9 $\frac{1}{2}$ , или 9 $^+$ , по-видимому, необходимо.

Определенным дефектом предлагаемой карты ОСР-78А является изменение расчетной балльности и на некоторых границах зон сразу на 2 единицы. Такая ситуация возникает на востоке Северного Кавказа, в северных предгорьях Копет-Дага и на Камчатке. Эту трудность можно разрешить "расщеплением" подобных границ в полосу, что не требует сколько-нибудь существенной переделки карты. Результат подобной модификации будем далее обозначать как карта ОСР-78Б.

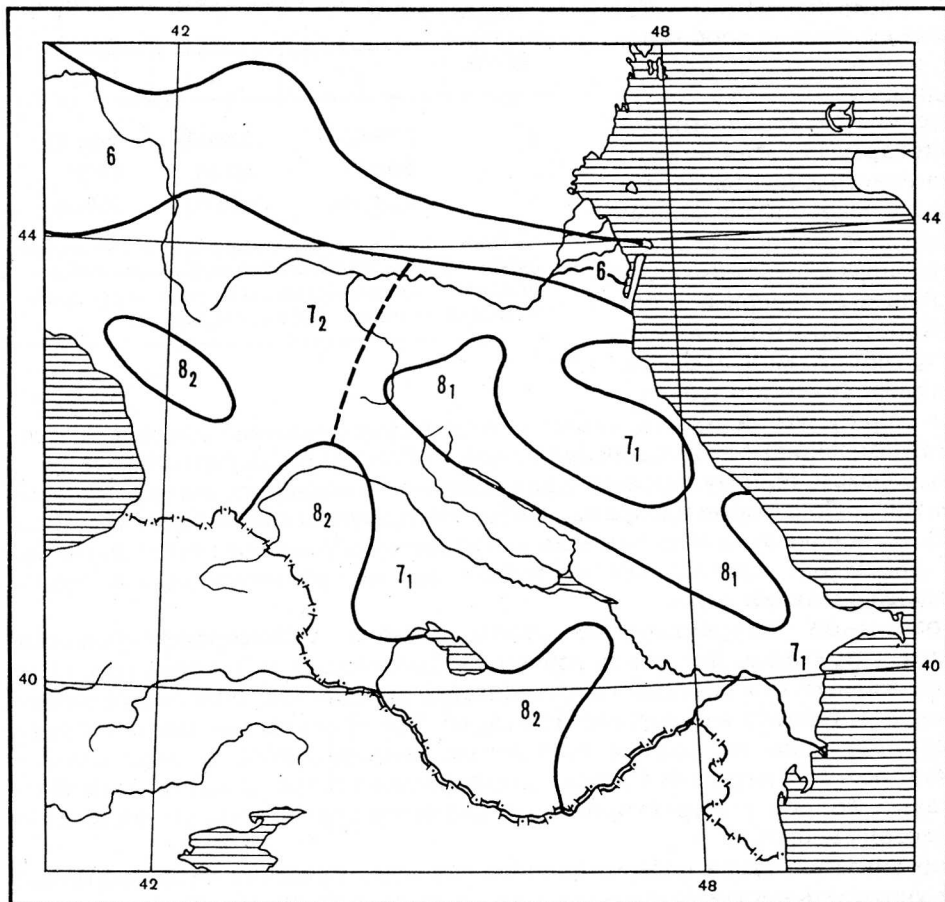
Таким образом, сформулированы предложения по модификации нормативных документов (либо в форме набора  $m_{кр}$ , либо, что предпочтительнее, в виде карты ОСР-78Б). На основе этих предложений могут быть исправлены резкие различия уровня риска для жителей сейсмостойких зданий, возникающие как эффект сегодняшней редакции норм.

**О возможной корректировке карты общего сейсморайонирования: принципы и примеры.** Детальное изучение объяснительной записки [2] к карте ОСР-78 показывает, что фактически при составлении этой карты не было единства методики. Это привело к ряду дефектов карты. Так, границы зон карты в разных регионах проведены по разным принципам, повторяемости в ряде случаев приписаны не в соответствии с результатами расчета сотрясаемости. Естественно поставить вопрос о корректировке тех дефектов карты, которые достаточно ясны в настоящее время.

При организации такой работы, если бы она была признана целесообразной, следует учитывать негативный опыт создания карты ОСР-78. Вероятная причина, по крайней мере, части дефектов — это отсутствие единой организации работ, когда головной институт лишь координирует исследования, проводимые в республиканских академиях. В таких условиях децентрализованную корректировку карты ОСР-78 с единых позиций организовать практически невозможно; так что корректировка карты ОСР-78 могла бы быть с наибольшим успехом выполнена в едином центре. Результат подобной работы (назовем его картой ОСР-78М), по-видимому, не должен быть обязательным для союзных республик. Карта ОСР-78М могла бы являться законом лишь при строительстве, финансируемом или координируемом на союзном уровне, а на республиканском она могла бы иметь лишь рекомендательный характер. При этом республики могли бы составлять республиканские карты сейсморайонирования.

Принципы, которых следует придерживаться при модификации карты ОСР-78, можно сформулировать следующим образом.

1. Все позитивные элементы существующей сводной карты ОСР-78 должны быть сохранены. Следует учесть и региональные карты, положенные в ее основу.

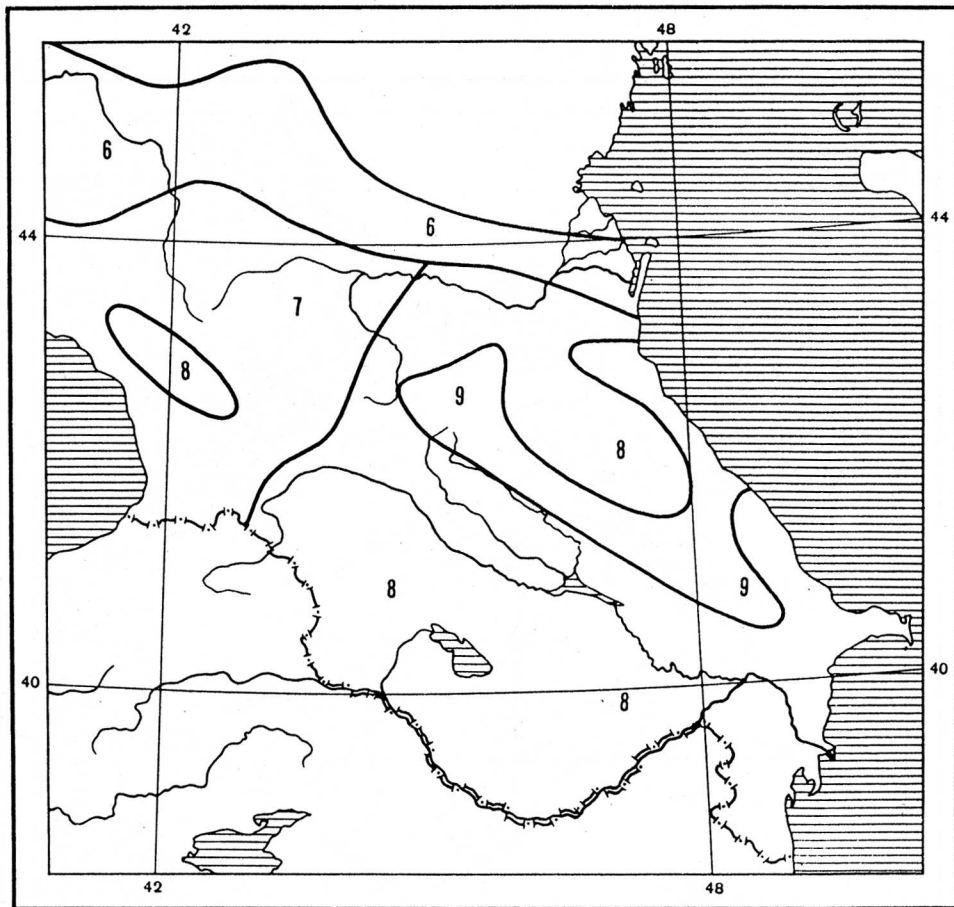


Р и с . 1. Карта ОСР-78 для Кавказа  
Пояснения см. в тексте

2. Карта ОСР-78М должна быть выражена в баллах и соответствовать единой величине повторяемости (1000 лет или иной, возможно, 500 лет). С одной стороны, это позволит сохранить традиционную для СССР опору на балл, что имеет определенные преимущества по сравнению с опорой на ускорение. С другой стороны, будет введен единый для конкретной карты период повторяемости, как и на большинстве зарубежных карт ОСР. При этом, поскольку во многих географических ситуациях шаг карты в 1 балл выглядит слишком резким округлением, целесообразно рассмотреть возможность создания карты с шагом в 0,5 балла.

3. Дополнительно к материалам карты ОСР-78 должны быть построены эмпирические (фактические) оценки сотрясаемости по максимально возможному числу пунктов. Эти оценки должны быть использованы при коррекции карты. Важность данного пункта связана с тем, что идеология расчета сотрясаемости по Ю.В. Ризниченко [5] имеет ряд слабых мест, из которых наиболее важны следующие: не учитывается разброс значения балла при заданной магнитуде; используется гипотеза стационарности для прогноза долговременной повторяемости сильных толчков по оценке повторяемости слабых за короткий период времени. Отметим также, что не учитывается возможность вариантов графика повторяемости по модели характеристического землетрясения.

Для иллюстрации описанного подхода автором был составлен пробный вари-



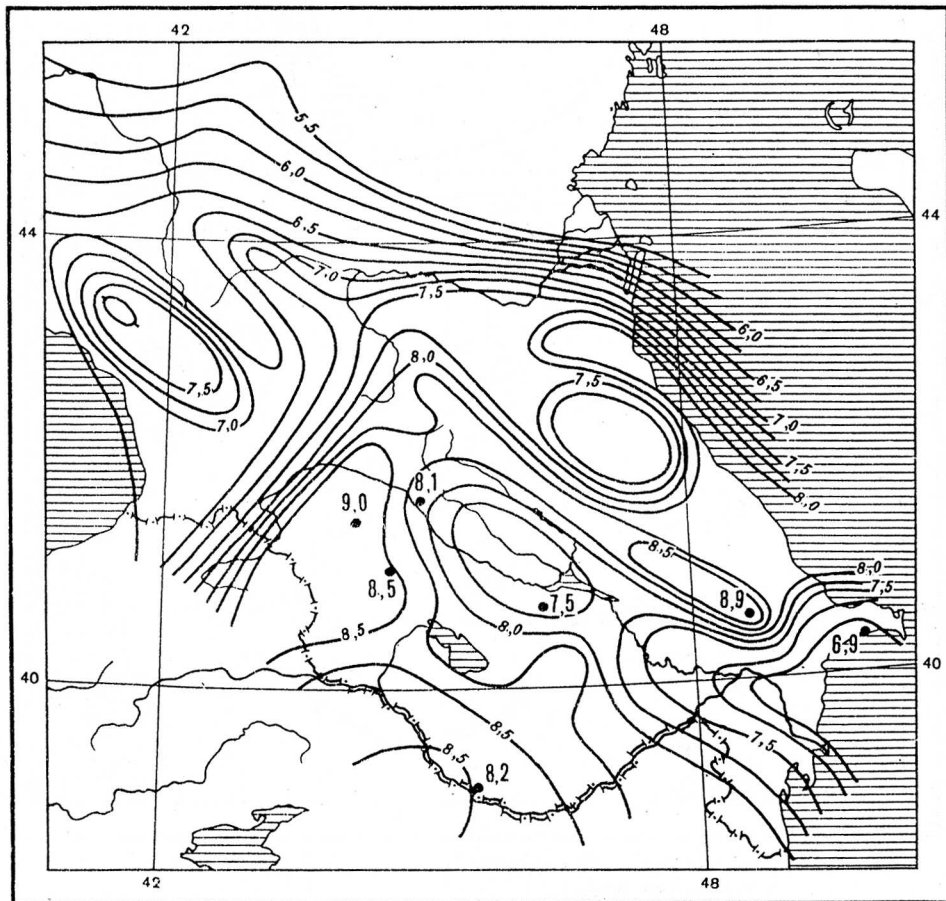
Р и с . 2. Карта ОСР-78А с заменой 7<sub>1</sub> → 8, 7<sub>2</sub> → 7, 8<sub>1</sub> → 9, 8<sub>2</sub> → 8  
Пояснения см. в тексте

ант откорректированной карты ОСР-78М для Кавказа. При этом использовались почти исключительно материалы работ [2, 3 (с Атласом карт), 4] (рис. 1, 2). Эта карта выглядит малоприемлемой, так как возникшая 9-балльная зона, по-видимому, частично завышает опасность, в то время как Малый Кавказ, непосредственно стыкующийся с Северо-Анатолийским разломом, оказывается в 8-балльной зоне.

Предлагаемая опорная карта, изображающая изолинии величин  $I_{1000}$  (балльности при периоде повторяемости 1000 лет) с шагом 0,25 балла, приведена на рис. 3. Для контроля нанесены пункты с известной по литературе статистикой сотрясений, при них — эмпирические оценки  $I_{1000}$ .

Карта ОСР-78М, вариант с шагом 1 балл, дана на рис. 4. Как принято для карты ОСР, изолинии соответствуют границе баллов, т. е. 6,5; 7,5; 8,5 балла. На рис. 5 представлена та же карта, но с шагом 0,5 балла. Здесь границами зон являются изолинии 6,25; 6,75; 7,25... 8,75 балла. По мнению автора, этот род карты оптимален.

Следует подчеркнуть, что автор ни в коей мере не является специалистом по Кавказу, и выбрал его для иллюстрации лишь потому, что хотел попутно понять, каким образом мог произойти перевод Спитака из 8-балльной зоны в зону 7<sub>1</sub>. Ясно, что конкретная предложенная карта может быть далеко не оптимальной,



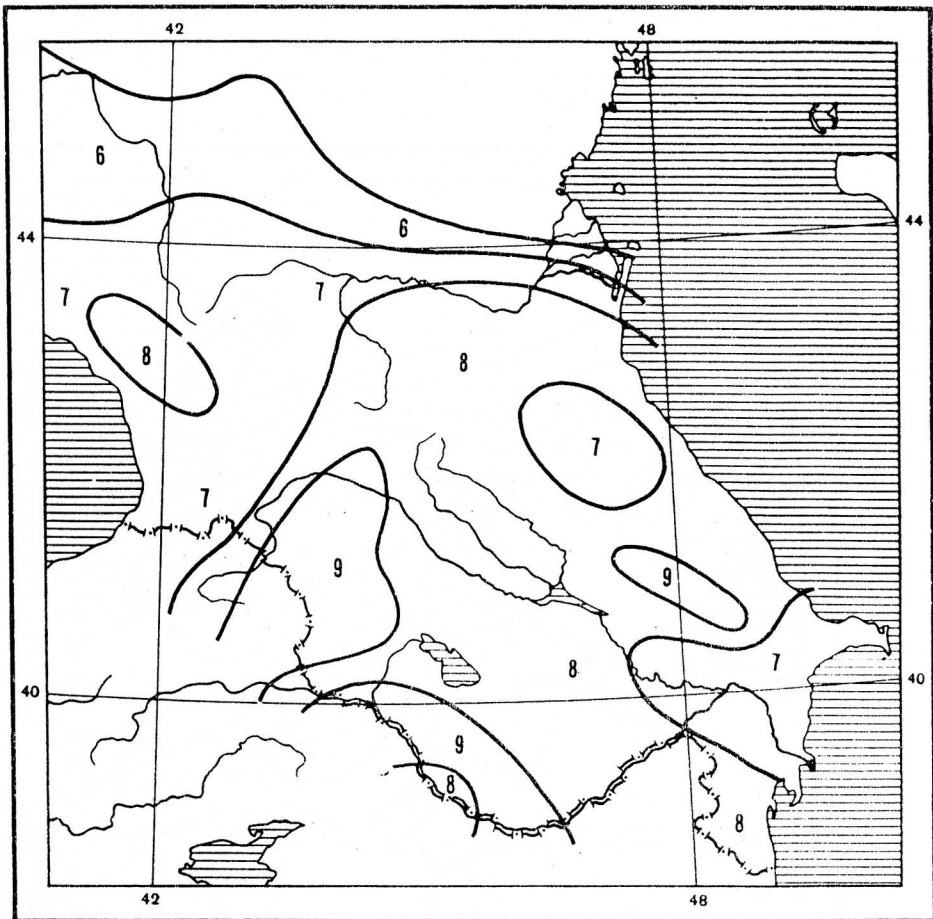
Р и с . 3. Карта величины  $1/1000$  в изолиниях, нанесены оценки по наблюдениям

ее должны составлять люди, лучше знающие регион. Задача автора заключалась лишь в том, чтобы показать стиль предлагаемой карты.

В качестве некоторого отступления рассмотрим вопрос о ситуации в Спитаке с точки зрения нормативов сейсмостойкости. На карте ОСР-69 район Спитака был отнесен к 8-балльной зоне. Это было более или менее логично в условиях известных 8-балльных толчков в Ленинакане и Алаверди, так как 9-балльная зона на Кавказе не выделялась вовсе.

На карте ОСР-78 этот район вместе с некоторыми другими районами Армении был перенесен в зону 7<sub>1</sub>. Это не вызывало бы возражений, если бы коэффициент  $m_{кр}$  в нормах был бы равен 0,5 (именно это предлагается в данной работе). Тогда уровень расчетной нагрузки был бы здесь идентичен уровню для зоны 8<sub>2</sub>, в которую вошел Ленинакан. Однако с введением в 1981 г. действующего СНиП с  $m_{кр} = 0,85$  расчетная нагрузка была заметно снижена, что ухудшило шансы на выживание для жителей новых домов Спитака при толчке 07.12 1988 г.

Несмотря на факт 9-балльного толчка в Спитаке, вопрос о введении здесь 9-балльной зоны в известной мере дискуссионный. На мой взгляд, часть проблемы связана с резким шагом изолиний карты. При шаге 0,5 балла можно было бы ввести 8,5-балльную зону, к которой Спитак мог бы быть отнесен без каких-либо сомнений вместе с рядом других пунктов Кавказа.

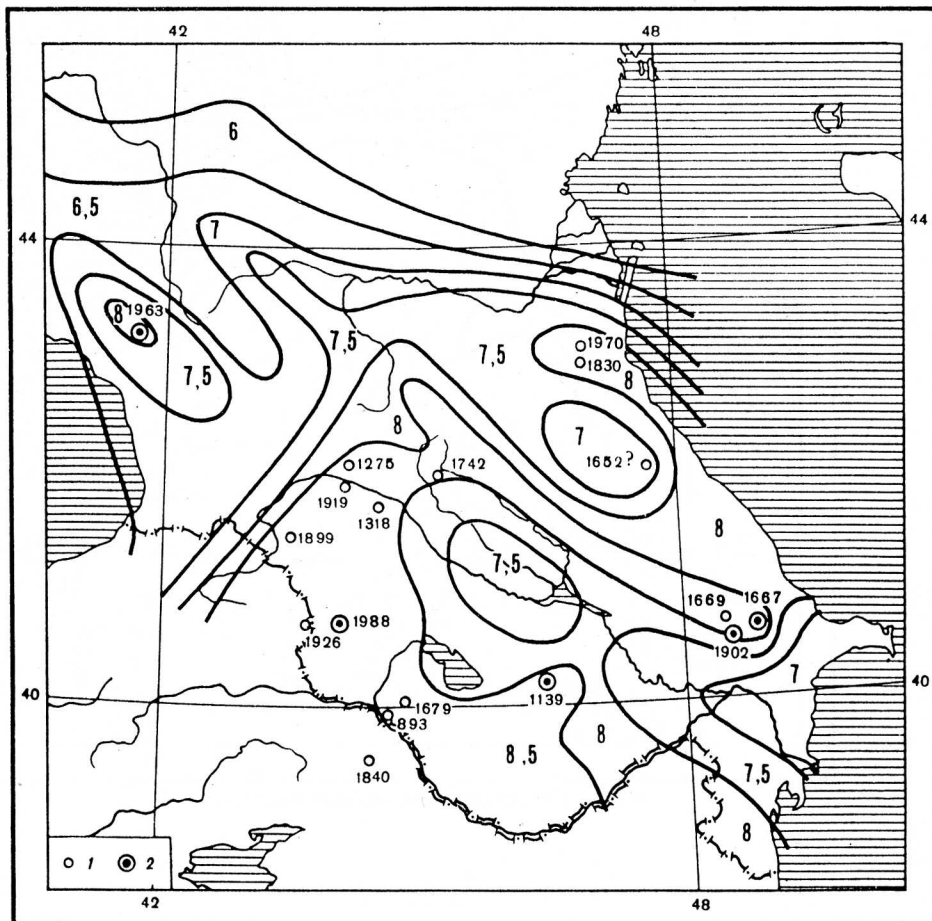


Р и с . 4. Карта ОСП-78М, вариант с шагом 1 балл

\* \* \*

В статье рассмотрен вопрос о корректности действующих в стране нормативов по сейсмостойкому строительству. Конкретно проверено, насколько выполнен следующий исходный принцип: антисейсмические меры должны снижать угрозу для населения до некоторого (приемлемого) уровня, который должен быть единым для всех сейсмоопасных районов страны. Показано, что для застройки, формируемой согласно действующим нормам, это требование явно не выполняется. Чтобы доказать это, проведены расчеты годовой вероятности обвала сейсмостойких зданий в условиях каждой из зон, выделенных на действующей карте общего сейсморайонирования страны ОСП-78. Обнаружено, что названные вероятности варьируют в пределах до 30—40 раз; это означает, что угроза населению сейсмостойких зданий резко неравномерна.

Имеются серьезные основания полагать, что в зонах с индексом 2 карты ОСП-78 (где величина периода повторяемости толчков расчетной силы составляет 1000 лет) действующие нормы обеспечивают необходимый минимальный уровень безопасности людей. Если это так, то для зон индексом 1 и периодом повторяемости 100 лет (включая район Спитака и его аналоги) определяемый действующими нормами уровень безопасности явно недостаточен. Годовая вероятность



Р и с . 5. Карта ОСР-78М, вариант с шагом 0,5 балла

1 — максимальные известные сотрясения силой 8—9 баллов; 2 — 9 и 9—10 баллов и их даты

гибели людей, живущих в сейсмостойких зданиях, здесь в 5—6 раз выше, чем в зонах с индексом 2.

Показано, что причина отмеченного дефекта действующих норм — некорректный учет в этих нормах повторяемости сотрясений. Предлагается способ корректировки действующих норм. Отмечено, что после предлагаемой корректировки уровень риска выравнивается и становится близким к единому для всех зон. Для района Спитака и его аналогов предлагаемая корректировка означает увеличение антисейсмических мер.

Отмечен также ряд других дефектов действующих антисейсмических норм и карты общего сейсморайонирования. Затронуты следующие вопросы: способ учета грунтовых условий, выделение школ и больниц в особо усиливаемую группу сооружений, недостаточный учет в карте ОСР-78 информации о повторяемости сотрясений, вопрос дробления шага карты с 1 балла до 0,5.

1. СНИП II-7—81. Строительство в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1982, 40 с.
2. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980. 308 с.
3. Штейнберг В. В. Параметры колебаний грунтов при сильных землетрясениях // Детальные инженерно-сейсмологические исследования. М.: Наука, 1986. С. 7—21 (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 27).
4. Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, 476 с.
5. Сейсмическая сотрясаемость территории СССР. М.: Наука, 1979. 192 с.
6. Ньюмарк Н., Розенблют Э. Основы сейсмостойкого строительства. М.: Стройиздат, 1980. 344 с.
7. Hattori S., Regional distribution of presumable maximum earthquake motions at the base rock in the whole vicinity of Japan // Bull. Intern. Inst. Seismol. Earthquake Eng. 1976. Vol. 14. P. 47—86.
8. Шебалин Н. В. Об оценке сейсмической интенсивности // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975. С. 87—109.
9. Ершов И. А., Шебалин Н. В. Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с позиций сейсмологов // Прогноз сейсмических воздействий. М.: Наука, 1984. С. 78—95 (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 25).
10. Шебалин Н. В. Распределение степеней повреждения зданий и использование его для оценки балльности // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975. С. 253—266.
11. Харитонов В. А., Шолохов В. А. Организация восстановительных работ при землетрясениях. М.: Стройиздат, 1986. 181 с.
12. Ципенюк И. Ф. Повреждаемость и надежность крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях // Исследования по сейсмической опасности. М.: Наука, 1988. С. 141—153 (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 29).
13. Аязенберг Я. М., Нейман А. И., Абакаров А. Д. и др. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. М.: Наука, 1978. 246 с.
14. Лятхер В. М., Фролова Н. И. Статистический прогноз сейсмических воздействий с использованием карт сотрясаемости // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1983 № 3. С. 88—95.