

УЩЕРБ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (к Главе 12)

В.Ф. Писаренко (МИТП РАН), М.В. Родкин (ОИФЗ РАН), Москва

EARTHQUAKE LOSS (in reference to Chapter 12)

V.F. Pisarenko (IIEP RAS), M.V. Rodkin (UIPE RAS), Moscow

Наши замечания касаются двух вопросов: 1 – понятие “жесткого включения в очаге землетрясения” и 2 – связь величин ущерба от землетрясений с социально-экономической ситуацией в разных регионах.

1. Известно, что область подвижки имеет значительные пространственные размеры и характеризуется резкой неоднородностью прочностных свойств, что приводит к неоднородности характера излучения. Излучение высокочастотных сейсмических колебаний (наиболее опасных в плане причиняемых разрушений) принято связывать с разрушением набора жестких включений, неким образом распределенных в области очага землетрясения [1–4]. За последние годы представления о свойствах таких жестких включений существенно конкретизировались. Т.Г. Раутиан [3] нашла статистическую связь “жесткости” включений с величиной землетрясений. Простая модель, описывающая эмпирическую тенденцию роста жесткости разрушаемых включений с увеличением размеров очага, предложена в работе [4]. Для ряда землетрясений определены геометрия и прочностные характеристики жестких включений (см., например, [5]).

Подтверждение значимости роли жестких включений в формировании свойств очага землетрясения и конкретизация физических свойств таких включений дают основание трактовать зависимость величин ущерба от магнитуды землетрясения в плане статистической зависимости магнитуды от размеров площадки, на которой могут располагаться источники высокочастотного “жесткого” излучения. Отсюда резонно сопоставить вероятность возникновения разрушений $\sum Nc/N_{\Sigma}$ (см. Гл. 12, табл. 12.1) не только с глубиной положения верхней кромки очага землетрясения (как это сделано в книге Н.В. Шебалина), но также и с величиной площади проекции зоны подвижки на земную поверхность. Производимый землетрясением эффект, по-видимому, должен зависеть от обоих этих факторов. Роль глубины положения верхней кромки очага землетрясения показана Н.В. Шебалиным, роль величины площади развития жестких включений демонстрируется ниже.

Определение размеров очага требует детального анализа характера сейсмического излучения. Поэтому для оценки изменчивости площади подвижки будем использовать известную эмпирическую формулу [1] для площади распространения афтершоков $A(\text{м}^2)$, экстраполировав эту зависимость в область событий меньшей магнитуды:

$$\lg(A) = 1.02 \times M + 2.0. \quad (1)$$

Оцениваемая по (1) характерная площадь области развития афтершоков A , вообще говоря, не равна проекции площади зоны подвижки на поверхность Земли, но можно предположить их пропорциональность. Отметим также, что, как видно из (1), с формальной точки зрения зависимость от $\lg(A)$ практически эквивалентна отвергнутой Н.В. Шебалиным зависимости от магнитуды M . Различается физическая трактовка, предположение о связи характеристик разрушения с площадью проекции очага землетрясения на земную поверхность представляется довольно естественным с физической точки зрения.

Учтем, что статистика событий с числом жертв менее 10 человек не вполне надежна [5]. Поэтому независимо рассмотрим как все градации табл.12.1, так и начиная с событий с числом жертв от 5 до 50 человек.

Наклоны аппроксимирующих прямых на рис. 1 равны 0.94 (для всех событий) и 0.98 (для событий с числом жертв более 5 человек).

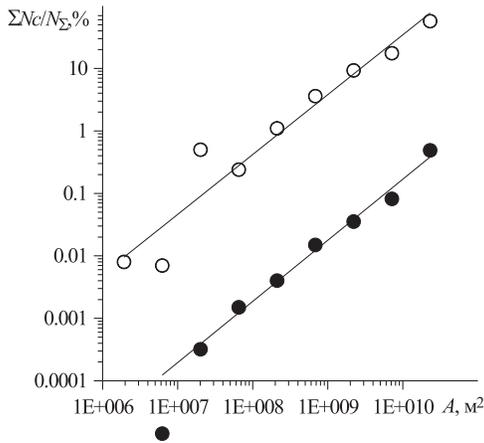


Рис. 1. Временные зависимости вероятности гибели людей при землетрясении $\Sigma N_c / N_\Sigma$ от характерного размера очага A .

Использованы данные по всем событиям из табл.12.1 (кружки) и только для событий с числом жертв более 5 человек (точки)

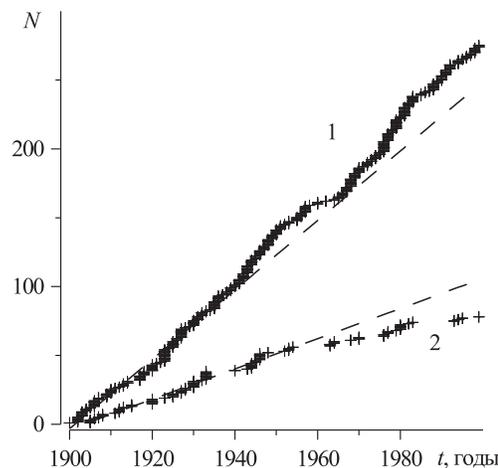
Отсюда имеем, что вероятность возникновения связанных с сильными разрушениями смертельных случаев прямо пропорциональна площади проекции зоны подвижки. Такая зависимость соответствует ожидаемой, что подкрепляет обоснованность приведенной нами трактовки.

2. Второй наш комментарий касается связи величин ущерба от землетрясений с социально-экономическими условиями. В табл.12.2 приведен перечень событий с аномально высоким и аномально низким числом

жертв (имея в виду магнитуду землетрясений и плотность населения). При этом все события с аномально малым числом жертв произошли после 1950 г., все такие землетрясения (кроме одного) локализованы в Европе. Половина событий с аномально большим числом жертв произошла до 1950 г., причем все эти события локализованы в экономически слаборазвитых странах (Иран, Пакистан, Индия, Цейлон). То есть все события с аномально тяжелыми последствиями произошли на территории слаборазвитых стран и в более ранний период времени, а все события с аномально малым числом жертв соответствуют развитым странам и второй половине XX века. Отсюда резонно предположить, что распределение случаев с аномальными значениями числа жертв отражает зависимость характера ущерба от социально-экономического развития разных территорий. Некоторые новые результаты авторов комментария, детализирующие характер этой зависимости, приводятся ниже.

На рис. 2 приведены временные зависимости накопленного числа землетрясений, вызвавших число жертв не менее 100 человек для развитых (Европа и Северная Америка) и развивающихся (Азия, Латинская Америка) стран. Там же даны линейные экстраполяции ожидаемого числа событий с таким числом жертв по данным за 1900–1939 гг.

Рис. 2. Накопленное число землетрясений $N(t)$ с числом жертв более 100 человек (крестики) и аппроксимирующие прямые (пунктир) по данным за 1900–1939 гг.: 1 – развивающиеся страны, 2 – развитые страны, по [6]



Видно, что реальное число событий с большим числом жертв оказалось меньше ожидаемого в развитых странах и больше ожидаемого – в развивающихся.

Величины ущерба от землетрясений описываются числом жертв и экономическими потерями. Соотношение этих двух видов ущерба Н.В. Шебалин предложил описывать отношением ущерб/жертвы или величиной экономического ущерба на одного погибшего. Значения числа по-

гибших и величины ущерба являются случайными, слабокоррелированными величинами. Поэтому не удивительно, что величины этого отношения распределены по логнормальному закону (рис. 3). В связи с зависимостью режима ущерба от социально-экономических условий обращает на себя внимание различие характера распределения ущерб/жертвы в развитых и развивающихся странах. Для развивающихся стран максимум распределения ущерб/жертвы в 6 раз меньше, чем для развитых.

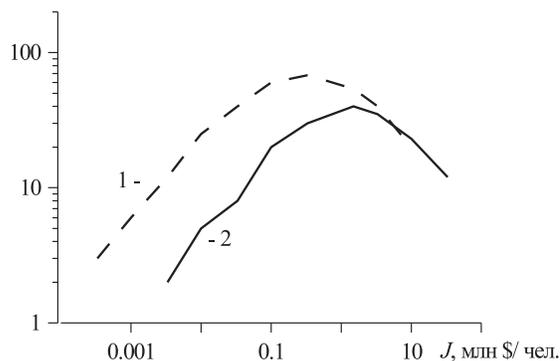


Рис. 3. Гистограммы отношений ущерб/жертвы J для развивающихся (1) и развитых (2) стран, по [5]

Наиболее тяжелые потери возникают, когда землетрясения происходят на территории мегаполисов. В этих случаях величины ущерба особенно велики, и зависимость характера ущерба от социально-экономических условий проявляется наиболее четко. На рис. 4 сопоставлены отношения ущерб/жертвы и годового национального продукта на душу населения для небольшого числа сильных землетрясений, происшедших на территории мегаполисов, для которых удалось собрать всю необходимую информацию.

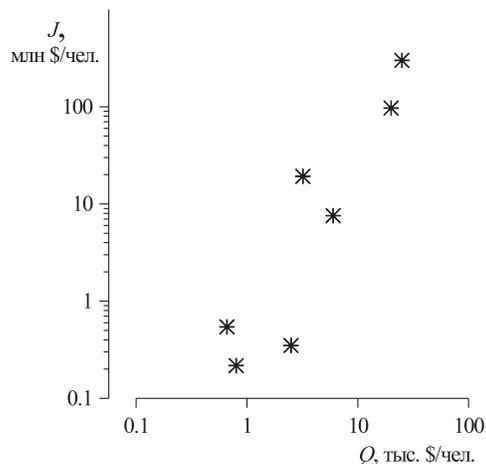


Рис. 4. Зависимость отношений ущерб/жертвы J от душевого годового национального продукта Q для землетрясений, происшедших на территории мегаполисов, по [5]

Из рис. 4 хорошо видна взаимосвязь отношения ущерб/жертвы со значениями душевого национального продукта, характеризующими социально-экономическую ситуацию в соответствующих регионах. Наблюдается примерное постоянство отношения ущерб/жертвы и значений годового душевого национального продукта, подтвержденное также результатами анализа данных о событиях, не затронувших территорию крупнейших городов.

Выявление такого соотношения представляется важным эмпирическим результатом, указывающим на определенное постоянство нормированных (к численности населения и значениям годового душевого продукта) величин ущерба от природных катастроф.

Литература

1. *Касахара К.* Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
2. *Гусев А.А.* Модель очага землетрясения со множеством неровностей // Вулканология и сейсмология. 1988. N 1. С.41–55.
3. *Раутиан Т.Г.* Сейсмоактивная среда и очаги землетрясений // Модельные и натурные исследования очагов землетрясений. 1991. С.35–48.
4. *Родкин М.В.* Модель сейсмического режима в среде со степенным распределением значений прочности // Физика Земли. 2002а. N 2. С.67–73.
5. *Mikumo T., Miyatake T., Santoyo A.* Dynamic rupture of asperities and stress change during a sequence of large interplate earthquakes in the Mexican subduction zone // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1998. Vol.88, N 3. P.686–702.
6. *Родкин М.В., Писаренко В.Ф.* Экономический ущерб и жертвы от землетрясений: статистический анализ // Проблемы динамики и сейсмичности Земли. М.: ГЕОС, 2000. С.42–72. (Вычисл. сейсмология; Вып.31).
7. *Писаренко В.Ф., Родкин М.В.* Динамика роста числа жертв от землетрясений: нелинейность режима и связь с социально-экономическими показателями // Геоэкология. 2001. N 4. С.329–340.