

Оценка и управление природными рисками.
М. 2000

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИН СЕЙСМОГЕННЫХ СМЕЩЕНИЙ ПО
РАЗЛОМАМ И ВЕРОЯТНОСТИ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Стром А.А. ЦЕНТР СЛУЖБЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ОТРАСЛИ, Москва

ASSESSMENT OF SLIP VALUES ALONG SURFACE RUPTURES
AND THEIR OCCURRENCE PROBABILITY

Strom A.L. GEODYNAMIC RESEARCH CENTER, Moscow

Surface rupturing accompanying strong earthquakes is characterized by rapid and large displacements that almost inevitably destroy structures crossed by such ruptures. Therefore localization of the potentially rupturing zones and possible displacement estimation should be considered as the important part of seismic risk assessment. Approaches that can be applied to estimate possible displacement values as well as their occurrence probability are discussed. If magnitude of the expected rupturing earthquake is given we can make a sound estimate of maximal possible displacement. It corresponds to the upper envelopes on the plot of maximum recorded slip versus earthquake magnitude. Though the obtained slip values are relatively large, a probability of such displacement occurrence is small. It could be recommended to use different slip estimates, taking as the design values those of them, which probability exceeds the threshold value of 0.01 or 0.0001.

Движения по тектоническим разрывам при землетрясениях представляют собой весьма опасное природное явление. Для них характерны большая скорость подвижки в сочетании со значительными — до нескольких метров — амплитудами перемещений, что почти неизбежно приводит к разрушению или значительному повреждению сооружений, оказавшихся на трассе такого разрыва. Поэтому прогнозирование мест возможного возникновения таких подвижек и их параметров должно являться важной частью работ по оценке сейсмического риска.

Отношение числа известных разрывообразующих землетрясений к общему числу коровых землетрясений с эпицентрами в пределах суши за период с ~ 1976 по 1996 г.

	$5 \leq M < 5.5$	$5.5 \leq M < 6$	$6 \leq M < 6.5$	$6.5 \leq M < 7$	$7 \leq M < 7.5$	$7.5 \leq M$
Общее число землетрясений на суше [Harvard...]	390	250	130	60	31	10
Из них разрывообразующих [Стром, 1998]	3	14	22	18	13	6
Вероятность выхода разрыва на поверхность земли	0.008	0.056	0.17	0.30	0.42	0.6

В большинстве случаев образование сейсмогенных разрывов отмечалось в зонах разломов, где аналогичные подвижки происходили и ранее. Нередко удается выделить следы многократных сейсмогенных смещений, соответствующих разновозрастным землетрясениям, что позволяет при наличии достаточных исходных данных оценить их повторяемость и вероятность возникновения очередной подвижки в течение срока службы сооружения. Но очень часто данных, относящихся непосредственно к зоне исследуемого разрыва, недостаточно. В этих случаях мы вынуждены применять иной подход, основанный на статистическом анализе мировых данных о подвижках по разрывам, образовавшимся при землетрясениях.

При этом вероятность возникновения подвижки определяется как произведение вероятностей возникновения землетрясения заданной магнитуды в рассматриваемой сейсмогенерирующей зоне и выхода очагового разрыва на поверхность Земли на участке расположения сооружения.

Рассмотрим вероятность возникновения подвижки по разрыву при условии возникновения очага землетрясения на данном отрезке сейсмогенерирующего разлома. Ее можно оценить, сопоставляя данные о протяженности очагов и поверхностных разрывов землетрясений и учитывая вероятность выхода очагового разрыва на поверхность.

В среднем отношение протяженности поверхностного разрыва к протяженности очага составляет 0.73 для всей совокупности событий. Для землетрясений с преимущественно сдвиговой кинематикой подвижек в очагах это отношение в среднем составляет 0.68, для «сбросовых» землетрясений — 0.75 и для «взбросовых» и «надвиговых» — 0.8.

Вероятность выхода очагового разрыва на поверхность существенно зависит от магнитуды ожидаемого землетрясения. Она может быть оценена как отношение числа землетрясений, сопровождавшихся образованием сеймотектонических дислокаций, и общего количества землетрясений с очагами в земной коре и эпицентрами в пределах суши в заданном диапазоне магнитуд (таблица 1).

Безусловно, эти оценки приблизительны, так как, например, для многих землетрясений по периферии Тихого океана трудно определить, произошли ли они в пределах суши или вне ее, а для некоторых землетрясений отсутствуют достаточно подробные описания последствий. Поэтому при работе в конкретном районе целесообразнее использовать оценки вероятности выхода разрыва на поверхность, базирующиеся на региональных данных, если они основываются на достаточно представительном фактическом материале.

Получаемые значения вероятностей соответствуют вероятности возникновения некоторой подвижки на участке пересечения сейсмогенерирующего разлома и сооружения. Ее величина может быть принята равной средней величине смещения, характерной для наиболее протяженных участков разрывов и рассматриваемой в качестве «наиболее вероятной» подвижки ($D_{на}$).

Как установлено в результате анализа данных о разрывах более чем 300 современных и исторических землетрясений [Стром, Никонов, 1997; Стром, 1998], при известной магнитуде землетрясения, в ходе которого предполагается формирование сейсмогенного разрыва, можно с высокой степенью достоверности оценить «максимально возможную» величину подвижки ($D_{пред}$), которая закономерно возрастает от 0.7 м при магнитуде землетрясений ~5.5 до 10—15 м при магнитуде ≥ 7.5 (рисунок). Столь большие смещения, по-видимому, исключают реальную возможность предотвращения разрыва элементов конструкции. Однако вероятность возникновения такой подвижки именно там, где разрыв пересечет сооружение, мала.

Это возможно при одновременной реализации следующих условий — совпадения при данном событии участка разрыва с максимальной амплитудой смещения с участком размещения сооружения и возникновения при этом подвижки, предельной для землетрясения с заданной магнитудой. Каждое из указанных условий реализуется с определенной вероятностью (P), которая может быть оценена количественно.

На практике наиболее часто в качестве расчетной величины принимается «среднее максимальное» смещение (D_{max}), определяемое на основании регрессионной зависимости максимальных смещений, зарегистрированных по каждому из учтенных разрывов, от магнитуды. Однако учет такой подвижки подразумевает, что сооружение пересекается разрывом именно на том участке, где смещение по нему

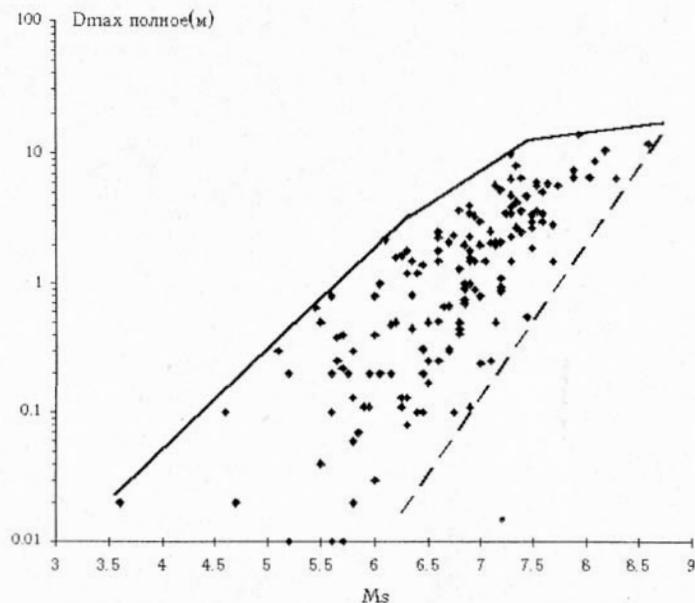


Рис. Соотношение максимальных смещений (полный вектор) и магнитуд землетрясений и положение огибающих.

будет максимальным при данном событии. Вероятность такого совпадения определяется с учетом того, что размеры большинства объектов на несколько порядков меньше протяженности сейсмогенных разрывов, а практически все известные разрывы землетрясений характеризуются существенной неравномерностью величин смещений [Стром, Никонов, 1999]. При этом протяженность фрагментов разрывов, характеризующихся максимальными смещениями (L_{max}), обычно мала и в среднем составляет менее 5% их общей протяженности.

Даже если, принимая во внимание точность измерений амплитуд смещений, учитывать среднюю протяженность участка разрыва, где смещения превосходят 0.9 от максимальной подвижки, вероятность возникновения в основании сооружения подвижки с амплитудой, которую выше мы охарактеризовали как «среднюю максимальную» $P_{(D_{max})}$, оказывается, в зависимости от кинематики подвижки, в 10—15 раз меньшей, чем $P_{(D_{max})}$. Еще меньше вероятность возникновения подвижек с предельными амплитудами смещений. В первом приближении ее можно

Таблица 2
Расчетные смещения (в метрах) при различных значениях магнитуды землетрясения

Ms	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
Максимально возможная	0.05	0.1	0.3	0.7	2.0	4.0	7.0	10-12	12-15
Средняя максимальная	0.01	0.02	0.04	0.10	0.24	0.57	1.36	3.23	7.67
Наиболее вероятная	<0.005	0.005	0.01	0.025	0.06	0.15	0.35	0.8-1.0	2.0-2.5

Таблица 3
Вероятность возникновения сейсмогенных подвижек разной обеспеченности (при 100% вероятности возникновения землетрясения за срок службы сооружения)

Ожидаемая магнитуда	$P_{(D_{max})}$	$P_{(D_{max})}$	$P_{(D_{прсж})}$
	минимальная — максимальная оценки		
5.0	0.0008 — 0.015	0.00005 — 0.0015	0.000003 — 0.00008
6.0	0.01 — 0.09	0.0006 — 0.009	0.00003-0.0009
7.0	0.08 — 0.4	0.005 — 0.04	0.0003 — 0.004
8.0	0.6 — 1.0	0.036 — 0.1	0.002 — 0.01

оценить, сравнивая количество точек, по которым построены огибающие (см. рисунок), с общим количеством точек в выборке. В зависимости от анализируемой выборки это отношение изменяется в диапазоне от ≈ 0.1 до ≈ 0.5 .

В таблицах 2 и 3 приведены величины смещений, рекомендуемые в качестве расчетных, и примерные пределы оценок вероятности их возникновения. В каждом конкретном случае оценки вероятностей должны быть скорректированы в зависимости от вероятности возникновения разрывообразующего землетрясения и от срока службы сооружения.

Для обеспечения безопасности сооружений и возможности эффективного восстановления их работоспособности следует использовать различные значения амплитуд возможных смещений в диапазоне от «наиболее вероятной» до «максимально возможной» с учетом вероятности их возникновения.

При этом, с учетом сложившейся практики, в качестве «пороговых» целесообразно принимать значения годовой вероятности 0.01 и 0.0001.