

Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования

А.А. Гусев*, Л.С. Шумилина†

Обсуждаются некоторые методики общего сейсмического районирования. Как наиболее серьезные отмечены следующие проблемы: неясность принципов прогнозирования долговременной повторяемости землетрясений, отсутствие четкого различия между прогнозируемой и наблюдаемой повторяемостью землетрясений, опора на линейность графика повторяемости вплоть до предельных магнитуд. Предлагается жестко фиксировать структурную схему региона; использовать в расчетах сотрясаемости не наблюдаемую, а прогнозируемую повторяемость землетрясений (с учетом нелинейности графика повторяемости) для каждой структурной единицы; график повторяемости строить по моментной магнитуде; учитывать случайный фактор в зависимости интенсивность – магнитуда – балл, используя модельный каталог.

8 марта 1991 г. на территории Корякского автономного округа (КАО) произошло землетрясение, вызвавшее сотрясения в VII баллов в пос. Халилино, расположенном в 20 км от эпицентра. Его координаты 62° с.ш., 167° в.д., очаг находился в земной коре. Магнитуда землетрясения $M_{LN} = 7$. По ныне действующей карте СР-78 эта территория отнесена к V-балльной зоне [*Сейсмическое...*, 1980], в связи с чем встала задача пересмотра оценок сейсмической опасности в районе КАО и проведения здесь заново общего сейсмического районирования (ОСР). Попытки использовать для этой цели методику сейсмической сотрясаемости Ю.В. Ризниченко [*Сейсмическая сотрясаемость...*, 1979] (СС) и методическую часть пояснительной записки к карте СР-78 [*Сейсмическое районирование территории...*, 1980] (СРТ) вызвали ряд затруднений, в силу которых возникла необходимость разработать модифицированный вариант методики ОСР. Ниже обосновывается необходимость отхода от некоторых принципов СС и СРТ, обсуждается ряд конкретных методических трудностей работ по ОСР, предлагаются новые методические подходы.

НЕДОСТАТКИ НЕКОТОРЫХ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ОСР

Перед тем как перейти к критическому рассмотрению опубликованных методик ОСР, следует оговориться, что они разрабатывались в 1965–1975 гг. и для того времени в ряде аспектов были весьма прогрессивными, однако с течением времени стали более ясны их слабые места.

Начнем рассмотрение с методики СС Ю.В. Ризниченко [*Сейсмическая...*, 1979]. Ее идея, вполне оригинальная в 60-е годы [*Ризниченко*, 1965, 1966, 1968; *Ризниченко и др.*,

* Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский.

† Объединенный институт физики Земли РАН, Москва.

1967], состояла в следующем. Для расчета сотрясаемости необходимо оценить: 1) повторяемость слабых землетрясений по детальным наблюдениям; 2) долговременную активность A в основном на основе детальных данных; 3) тангенс угла наклона γ графика повторяемости землетрясений $\lg N(K) = a - \gamma K$, единого во всем диапазоне энергетических классов, вплоть до K_{\max} ; 4) поле K_{\max} ; а также рассчитать поток сильных землетрясений (точек) по данным об A, γ, K_{\max} и вычислить для пунктов территории поток сотрясений с интенсивностью I , большей некоторого порога $I_{\text{пор}}$ (сотрясаемость B) по данным о потоке сильных землетрясений и детерминированной связи $I(M, r)$.

По методике СС были составлены карты сотрясаемости для районов бывшего СССР [Сейсмическая сотрясаемость..., 1979], но они почти не использовались при создании карты СР-78, поскольку прямой переход от рассчитанных карт сотрясаемости к карте ОСР, по экспертной оценке, выглядел мало обоснованным, несмотря на то, что именно с этой целью делались карты сотрясаемости.

Возникает впечатление, что причины отказа от учета результатов расчета сейсмической сотрясаемости имеют субъективный характер, хотя нужно отметить, что методика СС имеет и реальные слабые места. Ее четкое изложение и формализованное применение позволяет их уяснить и развить методику дальше.

На наш взгляд, проблема заключается в следующем. В основе понятия активности A лежит представление о существовании долговременных средних значений для величины “число событий в единицу времени”. Анализ каталогов разных регионов мира (Сирия, Китай и др.) зачастую ставит под сомнение эту идею. Часто говорят о “долговременных флуктуациях” сейсмичности. Понятие “флуктуация” подразумевает наличие среднего значения, хотя его существование в подобном случае должно быть предметом особого анализа. Рассмотрим сейсмичность какой-либо области, измеряемую накопленным числом событий $N(t)$ выше некоторого порога. Первая разность с шагом t есть $n(t)$. Наша гипотеза заключается в том, что $n(t)$ относится к классу процессов с независимыми приращениями, т.е. не имеет никакого содержательного долговременного среднего. Но даже если высказанная гипотеза неверна и долговременное среднее существует, реальная ситуация не будет намного лучше, если в спектре $n(t)$ присутствуют компоненты с частотами 1/10 000 лет или 1/100 000 лет, порождающие настоящие флуктуации. В любом случае оценка $n(t)$ по периоду детальных (десятки лет), инструментальных (100 лет) или даже исторических (300–10 000 лет) наблюдений может быть искаженной. Использование долговременных средних значений, полученных по коротким периодам наблюдений (например, 30 лет), для характеристики длительных интервалов времени (например, 1000 лет) на основе веры в стационарность небезопасно, и в ряде случаев явно ведет к реальным искажениям долговременных оценок (см. Атлас карт k [Сейсмическая сотрясаемость..., 1979]). Качество этих оценок зависит от уровня сейсмичности: чем он выше, тем в общем больше шансов на надежность оценок.

Частично описанную трудность можно, по-видимому, преодолеть, привлекая данные о палеосейсмодислокациях и геолого-структурные. Неучет этой информации — одно из основных слабых мест методики СС.

Существенное слабое место методики СС — вера в универсальность “линейного” графика повторяемости. При этом мы не имеем в виду известную дискуссию о наличии “излома” графика повторяемости в области “средних” магнитуд. Вопрос гораздо

серьезнее. Для его детального обсуждения следует сначала поставить под сомнение использование в качестве универсального параметра энергетического класса K . В середине 90-х годов стало ясно, что, хотя такой универсальный параметр действительно необходим, его роль в обозримом будущем будет играть сейсмический момент M_0 , или моментная магнитуда M_w . Наш опыт показывает, что изломы графиков $\lg N(K)$, как правило, исчезают при переходе к M_w . Однако переход к M_w не снимает всех вопросов: уже возникла проблема нелинейности графика $\lg N(M)$ в области максимальных магнитуд M_{\max} .

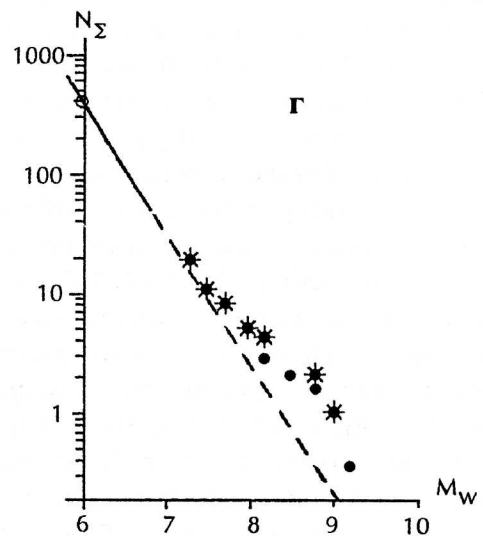
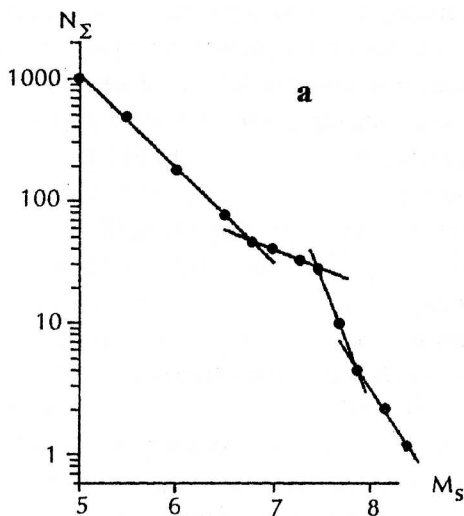
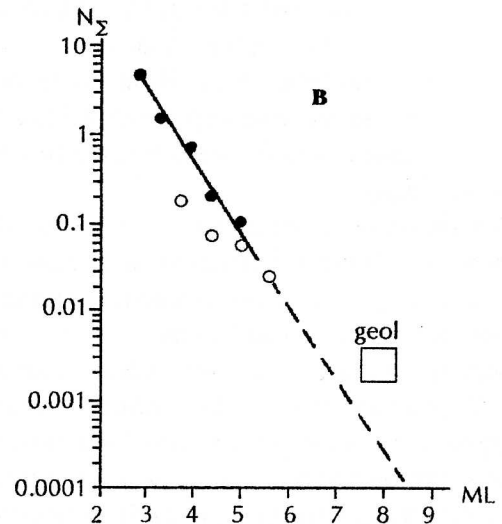
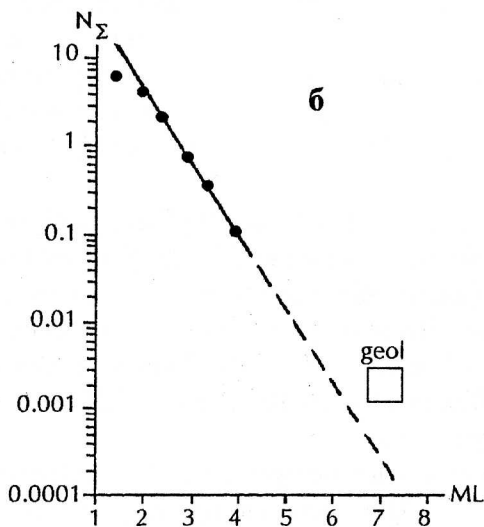
Это явление впервые четко выявил М.Бот для Северной Анатолии [Báth, 1981] (см. рисунок, а). Затем Д.Шварц и К.Копперсмит [Schwartz, Coppersmith, 1984] получили ту же картину при сопоставлении геологических (палеосейсмологических) и сейсмологических (детальных) данных (см. рисунок, б,в). По этому вопросу к настоящему времени имеется достаточно обширная литература [Singh et al., 1983; Davidson, Scholz, 1985; Wesnousky et al., 1984; Main, Durtogh, 1989; Wesnousky, 1990; и др.]. А.А. Гусев обнаружил ту же картину для Камчатки (см. рисунок, г).

Еще одним слабым местом методики СС является оценка предельной магнитуды M_{\max} (или K_{\max}) по уровню сейсмической активности. В настоящее время разработаны методы прогноза M_{\max} по множеству геолого-геофизических признаков, что позволяет считать проблему оценки M_{\max} в основном решенной. К тому же в ряде случаев определение точного значения M_{\max} не принципиально, так как при низкой сейсмичности (в рамках простейшей гипотезы линейного графика повторяемости) результаты расчета сотрясаемости могут слабо зависеть от выбора значения M_{\max} . В этом случае использование модели с $M_{\max} = \infty$ может быть вполне оправданным после необходимого анализа. Однако в связи с отмеченной особенностью графика $\lg N(M)$ в области M_{\max} (см. рисунок) возникает новый взгляд на проблему оценки M_{\max} . Она непосредственно связана с вопросом о степени достоверности основных положений гипотезы сейсмического цикла [Гзовский, 1957; Федотов, 1965, 1968]. По концепции сейсмического цикла, очагам сильных землетрясений соответствуют непересекающиеся участки сейсмогенных структур. В этих участках периодически (или почти периодически) возникает очаг определенного размера и определенной (максимальной) магнитуды. Таким образом, каждый участок характеризуется своей максимальной магнитудой и своей продолжительностью сейсмического цикла. Заметим, что важнейший для проблематики сейсмоопасности вопрос о том, будет ли в каждом новом цикле наряду с магнитудой воспроизводиться балльность (или ускорение), совершенно не разработан.

В то же время в реальном проявлении сейсмичности имеется ряд разнообразных отклонений от этой простой схемы:

– участок сейсмогенной структуры может активизироваться разными по магнитуде и размещению очагами, величина подвижки или сброшенное напряжение могут быть переменными. Таким образом, цикла в собственном смысле не существует, и даже сильнейшие землетрясения случайны во времени [Ризниченко, 1980; Kagan, Jackson, 1991a,b; Thatcher, 1989, 1990, 1993];

– при фиксированном M может изменяться от события к событию эффективность возбуждения короткопериодного (0.5–10 Гц) излучения;



Графики повторяемости землетрясений

а — район Северной Анатолии (Турция), 1913–1970 гг. [Báth, 1981];

б — район хребта Уосатч (Северная Америка): залитые кружки — инструментальные сейсмологические данные за 1962–1983 гг., пунктир — их экстраполяция, квадрат — геологические данные о землетрясениях с магнитудой $M_L = 7.0 \div 7.5$ за период 400–666 лет. Количество землетрясений приведено к 1 году [Schwartz, Coppersmith, 1984];

в — участок разлома Сан-Андреас: залитые кружки — инструментальные сейсмологические данные за 1932–1980 гг., пустые кружки — за 1900–1932 гг., пунктир — экстраполяция инструментальных данных, квадрат — геологические данные о землетрясениях с магнитудой $M_L = 7.5 \div 8.0$ за 240–450 лет. Количество землетрясений приведено к 1 году [Schwartz, Coppersmith, 1984];

г — район Камчатки: залитые кружки — инструментальные данные за 1736–1991 гг., звездочки — за 1915–1991 гг., кружок и линейный график — за 1925–1991 гг. по $M_w = 4.5 \div 6.5$, пунктир — экстраполяция этих данных. Количество событий приведено к периоду 100 лет

– возможен вариант строгой цикличности при явно переменной магнитуде (район Вальпараисо, Чили [Nishenko, 1985]);

– наблюдались случаи активизации сейсмичности не одиночными сильнейшими событиями, а тесными кластерами (желоб Нанкай [Ando, 1975]) или кратковременными сериями событий с близкими магнитудами из одного “гнезда” с почти нулевым “мертвым” временем между событиями (побережье Санрику, Япония [Mogi, 1969]).

Изложенные соображения показывают внутреннюю сложность самого понятия M_{\max} . Например, в простейшем варианте сейсмического цикла переменной длительности в конкретном “гнезде” следовало бы различать:

– среднее, “типовое”, M_w сильнейшего события цикла (которое может быть компонентом группы, кластера);

– суммарное M_0 сильнейшей группы цикла и соответствующее M_w ;

– предельное M_w в данном “гнезде”, возможно (но не обязательно) связанное с наиболее длинным циклом.

Для учета разброса разрушительного эффекта при фиксированном M_{\max} необходимо ввести соответствующие максимальные “макросейсмические” магнитуды вместе с функциями распределения.

Следующим, менее принципиальным, но практически очень важным недостатком методики СС является использование в расчете частоты сотрясений функциональной зависимости интенсивности I от класса K (или M) и расстояния r без учета случайного фактора. Реально средний макросейсмический эффект при заданных M и r имеет стандартное отклонение 0.5–1 балл, разброс реального эффекта в конкретном пункте от картины средних изосейст — того же порядка. Учет данного фактора необходим, его отсутствие ведет к неконтролируемым искажениям результатов расчета сотрясаемости.

На этом мы завершим обсуждение методики СС. Обсуждение стало возможным и достаточно содержательным из-за ясной структуры методики, подробной ее публикации и результатов — карт сотрясаемости [*Сейсмическая сотрясаемость...*, 1979].

Иначе обстоит дело с методикой, примененной при построении карты СР-78 [*Сейсмическое...*, 1980]. Она описана неясно, не изложены промежуточные результаты. По видимому, большую роль при ее составлении играли соображения преемственности с картой СР-68 [*Сейсмическое...*, 1968] и “требования экономики”, приведшие, например, к переводу района Спитака из VIII-балльной в VII-балльную зону. Теоретически привлекательная попытка ввести на карте СР-78 фактор повторяемости сотрясений (индексы 1, 2, 3) фактически привела к прямому искажению цели карты — снизить риск гибели населения и имущества до некоторого “разумного” предела, сравнимого с риском гибели от иных, “обычных” причин, или более низкого. При этом риск должен быть одинаков во всех сейсмоопасных районах. Расчеты показали [Гусев, 1991], что в зоне с индексом повторяемости сотрясений “1” (1 раз в 100 лет) риск гибели людей в терминах годовой вероятности примерно в 5 раз выше, а в зоне с индексом “3” (1 раз в 10 000 лет) примерно в 5 раз ниже, чем в зоне с индексом “2” (1 раз в 1000 лет).

С принципиальной стороны нет оснований критиковать карту СР-78 за отсутствие хорошего формализованного обоснования, так как сейсмическое районирование опиралось и неизбежно будет опираться в дальнейшем на экспертные оценки. последние должны быть четко зафиксированы и опубликованы, особенно при использовании гео-

логических данных, иначе нет возможности воспользоваться ценнейшим опытом этой масштабной работы, что и произошло при создании карты СР-78.

Из методики сейсмического районирования, изложенной В.И. Бунэ в работах [Бунэ и др., 1974; Методические..., 1974; Сейсмическое..., 1980], можно все же понять, что и его подход, как и подход Ю.В. Ризниченко, опирался на гипотезу линейности графика повторяемости. При этом большой упор делался на данные, полученные за длительный срок наблюдений; использовалась шкала M_{LH} ; M_{\max} оценивалась в общем на геологической основе. В то же время результаты расчета повторяемости сотрясений, по-видимому, не использовались непосредственно для проведения границ на карте СР-78 (за исключением Узбекистана, Камчатки и Курил).

Для целей ОСР важное значение имеет методика оценки сейсмического риска, созданная школой В.И. Кейлиса-Борока [Кейлис-Борок и др., 1973, 1980]. Многие ее элементы весьма существенны: учитывается разброс значений интенсивности при заданных магнитуде и расстоянии; анализируется и такой важный фактор, как произвол в выборе структурного разбиения территории (на геологической основе): расчет идет для двух независимых вариантов структуры; гипотеза линейности графика $\lg N(M)$ сохранена.

Таким образом, общим недостатком методик ОСР 70-х годов является использование линейного графика повторяемости. Именно в этом, по-видимому, причина систематического возникновения землетрясений в “неожиданных” для карты СР-78 местах (Озерновское 1969 г., Газлийские 1976 г., Спитакское 1988 г., Хаилинское 1991 г., Рачинское 1991 г. и др.). Если бы при интерпретации землетрясений стало ясно, что линейная экстраполяция графика повторяемости в область M_{\max} дает заниженную оценку, а реальные повторяемости могут быть больше в 10 раз и более, то своевременный учет этого позволил бы точнее оценить возможную (прогнозную) повторяемость землетрясений предельных магнитуд и, соответственно, было бы меньше “неожиданных” сильных землетрясений.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА ОСР

С учетом изложенного в предыдущем разделе, результатов анализа А.А. Гусева [1991], а также позитивных элементов опубликованных методик СРТ [Сейсмическое..., 1980] и СС [Сейсмическая..., 1979] выходные материалы общего сейсмического районирования территории, по нашему мнению, должны включать:

- нормативную карту расчетной сотрясаемости в изолиниях интенсивности с повторяемостью 1 раз в 500 лет (для зданий со сроком службы 50 лет вероятность превышения фактической нагрузки над расчетной должна составить примерно 10%);
- схему зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) с магнитудами выше заданного порога (6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0). Ее назначение — сигнализировать о повышенной сейсмогеологической опасности в пределах зон ВОЗ, указывать на необходимость детального сейсмического районирования (ДСР) при ответственном строительстве;
- графики зависимости расчетного пикового ускорения (\hat{a}) от интенсивности (I) и график коэффициента динамичности β , определяющего отклик конструкций;

- дополнительную информацию о максимальных ускорениях и скоростях, спектрах Фурье, продолжительности колебаний при землетрясениях в регионе.

Последние два пункта здесь не обсуждаются.

Составление нормативной карты предлагается делать на основе прогнозной карты сотрясаемости, построенной по методике, идейно близкой к методике Ю.В. Ризниченко, с учетом неформализованных экспертных суждений, модифицирующих прогнозную карту в тех случаях, когда, по мнению геофизика, она противоречит здравому смыслу.

Прогнозная карта сотрясаемости вычисляется с использованием конкретного алгоритма расчета сотрясаемости (I_{500}). При этом используются прогнозная информация о сейсмичности (магнитуда характеризуется M_w или, при невозможности M_{LH}), и модели воздействия, включая модель его случайной компоненты.

ПРОГНОЗНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СЕЙСМИЧНОСТИ

Прогнозная информация о сейсмичности будет составлена в определенном жестком формате. Это позволит зафиксировать то решение экспертов (сейсмологов, геологов и т.п.), которое (вместе с моделью воздействия, степень определенности которого выше) и обусловит в общих чертах нормативную карту. Как обычно, экспертная прогнозная оценка будет использовать инструментальные и исторические каталоги землетрясений; эмпирические графики $\lg N(M)$; геологические данные о повторяемости и предельной силе землетрясений, в первую очередь данные о сейсмодислокациях; структурные данные (геология, тектоника и пр.); информацию о районах-аналогах. Этот список, конечно, не исчерпывающий, в ряде районов он может быть расширен.

Специальный формат для структуры прогнозной информации о сейсмичности заключается в разбиении территории (области, для которой делается ОСР, и ее окаймления) на участки, называемые условно-однородными зонами. К условно-однородной зоне (УОЗ) относится тот участок территории, в пределах которого, судя по геологическим, сейсмогеологическим и иным данным, сейсмические свойства можно принимать постоянными. При этом не имеется основательных данных для разделения этого участка на части с различными свойствами сейсмичности. Предполагается, что в пределах УОЗ плотность эпицентров постоянна, а распределение событий по глубине и магнитуде неизменно по площади. Ясно, что полная информация о зонах ВОЗ есть часть информации об УОЗ. Для каждой УОЗ определяются и фиксируются граница, прогнозная зависимость $\lg N(M)$ (без гипотезы линейности), M_{\max} , информация о свойствах протяженных очагов (размер, ориентировка, глубина). Важно, что УОЗ определяет распределение эпицентров, а не самих протяженных очагов. Большие очаги могут "протыкать" границы УОЗ. Точнее, для каждой УОЗ и каждой M каждый участок границы УОЗ должен быть специфицирован как "протыкаемый" или "непротыкаемый".

Наиболее важное отличие предлагаемого подхода от традиционного — отказ от автоматического приравнивания прогнозной и наблюдаемой повторяемости землетрясений. Дело экспертов — составить прогнозный график $\lg N(M)$ по эмпирическим данным. При этом следует учитывать факторы завышения уровня графика (вклад афтершоков больших землетрясений) и занижения (вследствие малого срока детальных наблюдений или ограниченных данных за малосейсмичный период). Но наиболее

важно учесть вероятную нелинейность графика $\lg N(M)$ в области M_{\max} . В качестве нулевого приближения можно ввести фиксированный повышающий коэффициент для повторяемости M_{\max} , который учтет отличие реальной повторяемости M_{\max} от прогнозируемой при линейной экстраполяции графика в область M_{\max} (см. рисунок).

Подход с разделением наблюдаемой и прогнозной повторяемости позволяет рассчитывать варианты карт I_{500} при одинаковых исходных сейсмологических данных и даст, таким образом, ясную основу для экспертных оценок при выборе нормативной карты. В идеале все экспертные решения должны делаться именно на этапе оценки прогнозной сейсмичности. Экспертная правка самой карты I_{500} по существу бессмысленна.

МОДЕЛИРОВАНИЕ I_{500} МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Рассмотрим вопрос выбора алгоритма счета карты I_{500} по данным о прогнозной сейсмичности. Несмотря на принципиальную возможность вести расчет прямым интегрированием, как в подходах Ю.В. Ризниченко или В.И. Кейлиса-Борока, мы предлагаем использовать алгоритм статистического моделирования (Монте-Карло) [Shapira, 1983a,b]. Имеется в виду создание модельного каталога землетрясений на период 5–10 тыс. лет и расчет $I(M, r)$ для точек карты (по сетке) для каждого события каталога. Такой подход имеет ряд преимуществ:

- модельный каталог — промежуточный результат моделирования — имеет ясный смысл для сейсмолога, легко проверить его корректность и соответствие ожиданиям эксперта;
- очень просто и наглядно проводится учет любой специфики очагов и моделей затухания (сложные ограничения нередко трудно учесть при прямом интегрировании);
- результат счета имеет (автоматически в силу специфики метода) одинаковую относительную ошибку I_{500} по площади карты;
- одновременно с I_{500} легко рассчитать карты с любой другой повторяемостью, например I_{100} .

Фактически организация расчета I_{500} предполагается в следующем виде.

1. Моделирование каталога землетрясений. Для каждого события разыграть:
 - 1.1. номер УОЗ в соответствии с ее “весом” (средним в год числом событий с $M > M_{\text{пор}}$);
 - 1.2. магнитуду и глубину согласно заданным в этой УОЗ ограничениям;
 - 1.3. координаты эпицентра;
 - 1.4. ориентировку и длину очага. Проверить на допустимость. Если не годится — повторить с 1.3.
2. Моделирование сотрясений:
 - 2.1. для каждого события модельного каталога разыграть случайную добавку к магнитуде — δM ;
 - 2.2. ввести добавки в магнитуды: $M_{\text{макро}} = M + \delta M$;
 - 2.3. для каждой точки карты по сетке:
 - 2.3.1. рассчитать I с учетом протяженности очага;
 - 2.3.2. разыграть случайную добавку δI ;
 - 2.3.3. накопить $(I + \delta I)$ в гистограмме.

3. Счет карты I_{500} :

3.1. для каждой точки сетки обработать гистограмму $N(I)$ и найти I_{500} ;

3.2. построить карту в изолиниях I_{500} .

Описанный алгоритм прост в реализации и эффективен. Оценка показывает, что около 0.25 балла для I_{500} достигается при моделировании каталога за 5000 лет.

Расчет интенсивности в баллах предполагается вести с учетом протяженности источника по предлагаемому нами специальному алгоритму, использующему теорию [Гусев, 1984]. В данной статье этот самостоятельный вопрос не обсуждается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ некоторых опубликованных методик ОСР. Наиболее существенны следующие проблемы.

1. Использование сейсмической активности за малый срок наблюдений как базы прогноза долговременной активности.

2. Опора на гипотезу линейности графика повторяемости $\lg N(M)$ в процессе экстраполяции к M_{\max} .

3. Применение несовершенной шкалы энергетических классов K (и в меньшей мере M_{LH}) в процессе экстраполяции к M_{\max} .

4. Отсутствие средств фиксации решения об оценке долговременной сейсмической активности по наблюдаемой активности. Вера в допустимость простой экстраполяции наблюдаемой активности в процессе получения такой оценки.

5. Отсутствие средств фиксации экспертных решений в отношении структурно-геологических факторов выбора M_{\max} ; практика обхода таких решений.

6. Неучет разброса балла (или максимального ускорения) при заданных магнитуде и расстоянии.

7. Вычислительная громоздкость традиционных расчетных схем, невозможность учета взаимосвязи параметров в рамках этих схем.

Для преодоления описанных трудностей предлагается:

– строить нормативную карту ОСР на основе прогнозной карты сотрясаемости (например, в виде карты балла с повторяемостью 1 раз в 500 лет — I_{500}). Прогнозная карта сотрясаемости базируется на информации о прогнозной долговременной сейсмичности;

– считать, что информация о прогнозной долговременной сейсмичности должна иметь жесткий формат и строго отражать основные экспертные решения о выборе структурной схемы региона, M_{\max} и способа экстраполяции наблюдаемой сейсмичности;

– использовать моментную магнитуду M_w как базовую шкалу для обобщения и экстраполяции данных о сейсмичности;

аккуратно учитывать разброс “макросейсмической” магнитуды в точке относительно ожидаемого при заданной макросейсмической магнитуде;

– широко использовать метод каталога (Монте-Карло) для оценки сотрясаемости. Модельный каталог четко отражает принятую модель долговременной сейсмичности, его анализ привычными для сейсмолога средствами обеспечивает внутренний контроль корректности методики.

ЛИТЕРАТУРА

- Бунэ В.И., Аптикаев Ф.Ф., Артемьев М.Е. и др. Методические рекомендации по сейсмическому районированию СССР// *Инженерное описание сейсмических колебаний*. М.: Наука, 1974. С.185–208. (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 16).
- Гзовский М.В. Тектонофизическое обоснование геологических критериев сейсмичности. 1// *Изв. АН СССР. Сер. геофиз.* 1957. № 2. С.141–160.
- Гусев А.А. Описательная статистическая модель излучения очага землетрясения и ее применение к оценке сильного движения// *Вулканология и сейсмология*. 1984. № 1. С.3–22.
- Гусев А.А. О необходимости корректировки документов, регламентирующих антисейсмические меры в СССР// *Вопр. инж. сейсмологии*. М.: Наука, 1991. Вып.32. С.147–160.
- Кейлис-Борок В.И., Кронрод Т.Л., Молчан Г.М. Алгоритм для оценки сейсмического риска// *Вычисл. сейсмология*. М.: Наука, 1973. Вып.6. С.21–43.
- Кейлис-Борок В.И., Кронрод Т.Л., Молчан Г.М. Расчет сейсмического риска// *Сейсмическое районирование территории СССР*. М.: Наука, 1980. С.69–82.
- Методические рекомендации по сейсмическому районированию территории СССР*/ Отв. ред. В.И. Бунэ. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. 195 с.
- Ризниченко Ю.В. От активности очагов землетрясений к сотрясаемости земной поверхности// *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1965. № 11. С.1–12.
- Ризниченко Ю.В. Расчет сотрясаемости точек земной поверхности от землетрясений в окружающей области// *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1966. № 5. С.16–32.
- Ризниченко Ю.В. Сейсмическая активность и сотрясаемость// *Сейсмическое районирование СССР*. М.: Наука, 1968. С.112–120.
- Ризниченко Ю.В. Сейсмический режим и сейсмическая активность// *Сейсмическое районирование территории СССР*. М.: Наука, 1980. С.47–58.
- Ризниченко Ю.В., Захарова А.И., Сейдузова С.С. Карты сейсмической сотрясаемости// *Докл. АН СССР*. 1967. Т.174, № 4. С.830–832.
- Сейсмическая сотрясаемость территории СССР*. М.: Наука, 1979. 192 с.
- Сейсмическое районирование СССР*. М.: Наука, 1968. 476 с.
- Сейсмическое районирование территории СССР: Методические основы и региональное описание карты 1978 г.* М.: Наука, 1980. 307 с.
- СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах*. М.: Стройиздат, 1982. 40 с.
- Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии// *Сейсмическое микрорайонирование*. М.: Наука, 1965. С.66–93. (Тр. ИФЗ АН СССР; Вып.10, № 36 (203)).
- Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе// *Сейсмическое районирование СССР*. М.: Наука, 1968. С.121–150.
- Ando M. Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, Japan// *Tectonophysics*. 1975. Vol.27, No 2. P.119–140.
- Båth M. Earthquake recurrence of a particular type// *Pure and Appl. Geophys.* 1981. Vol.119. P.1063–1076.

- Davidson F.C., Scholz C.H. Frequency-moment distribution of earthquakes in the Aleutian Arc: A test of the characteristic earthquake model// *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1985. Vol.75. P.1349–1361.
- Kagan Y.Y., Jackson D.D. Long-term earthquake clustering// *Geophys. J. Intern.* 1991a. Vol.104, No 1. P.117–133.
- Kagan Y.Y., Jackson D.D. Seismic gap hypothesis: Ten years after// *J. Geophys. Res.* 1991b. Vol. 96, B13. P.21,419–421,431.
- Main I.G., Burtoh P.W. Physical links between crustal deformation seismic moment and seismic hazard for regions of varying seismicity// *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* 1984. Vol.79. P.469–488.
- Main I.G., Burtoh P.W. Seismotectonics and the frequency-magnitude distribution in the Aegean area// *Geophys. J.* 1989. Vol.98. P.575–586.
- Mogi K. Some features of recent seismic activity in and near Japan (2). Activity before and after great earthquakes// *Bull. of the Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo.* 1969. Vol.47, No 3. P.395–417.
- Nishenko S.P. Seismic potential for large and great interplate earthquakes along the Chilean and Southern Peruvian Margins of South America: A Quantitative Reappraisal// *J. Geophys. Res.* 1985. Vol.90. P.3589–3615.
- Schwartz D.P., Coppersmith K.J. Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones// *J. Geophys. Res.* 1984. Vol.89, B7. P.5681–5698.
- Shapira A. Potential earthquake risk estimations by application of a simulation process// *Tectonophysics.* 1983a. Vol.95, No 1/2. P.75–89.
- Shapira A. A probabilistic approach for evaluating earthquake risks, with application to the Afro-Eurasian junction// *Tectonophysics.* 1983b. Vol.91, No 3/4. P.321–334.
- Singh S.K., Rodriguez M., Esteva L. Statistics of small earthquakes and frequency of occurrence of large earthquakes along the Mexican subduction zone// *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1983. Vol.73, No 6. P.1779–1796.
- Thatcher W. Earthquake recurrence and risk assessment in Circum-Pacific seismic gaps// *Nature.* 1989. Vol.341, No 6242. P.432–434.
- Thatcher W. Order and diversity in the modes of Circum-Pacific earthquake recurrence// *J. Geophys. Res.* 1990. Vol.95, B3. P.2609–2623.
- Thatcher W. The earthquake cycle and its role in the long-term deformation of the continental lithosphere. Modes of crustal deformation: from the brittle upper crust through detachments to the ductile lower crust: Workshop. Roma// *Ann. di Geofisica.* 1993. Vol.36, No 2. P.13–24.
- Wesnousky S.G., Scholz C.H., Shimazaki K., Matsuda T. Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic hazard: a case study of Japan// *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1984. Vol.74, No 2. P.687–708.
- Wesnousky S.G. Seismicity as a function of cumulative geologic offset: Some observations from southern California// *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1990. Vol.80, No 5. P.1374–1381.