

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ШКАЛЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ – СОВРЕМЕННАЯ АКТУАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА ДОЛГОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Шерман С.И., Берзинский Ю.А., Павленов В.А., Шерман П.С.

Институт земной коры СО РАН

Введение

В Российской Федерации до настоящего времени официально действует сейсмическая шкала MSK-64, разработанная в начале 60-х годов. Она же лежит в основе серии строительных норм и правил. За прошедшие десятилетия были неоднократные попытки создания новых вариантов шкал. Ни одна из них по ряду причин не была окончательно утверждена в качестве нормативного документа. Не лучше ситуация и в зарубежных странах. Одними из последних зарубежных разработок являются Европейская макросейсмическая шкала, изданная в 1998 г. под редакцией Г. Грюнталя [European Macroseismic Scale, 1998], и недавно опубликованная сейсмическая шкала INQWA [The INQWA SCALE, 2004]. Подобная, не типичная для нашего времени, ситуация с задержкой в разработке новых или совершенствовании старых шкал связана со сложившейся тенденцией в методике их составления. Считалось, что шкала должна быть пригодной для широкого использования как минимум в пределах части света или одной страны. Европейская макросейсмическая шкала на это и претендует, о чем свидетельствует ее название. Известные данные о специфике сейсмических процессов в различных сейсмических поясах, различные тектонические режимы, характерные для тех или иных территорий, различные климатические и инженерно-геологические условия территорий, многообразные типовые правила и нормы их застройки, а также другие причины, связанные с общим социальным прогрессом, не способствовали переработке старых и не стимулировали создание новых шкал сейсмической интенсивности на базе устаревших методов и

концепций. Однако прогресс в строительных конструкциях, в том числе появление различных типов застроек даже в одном пространственно небольшом регионе, с одной стороны, и более глубокое изучение сейсмичности, когда выделяются регионы с преобладанием напряжений сжатия или растяжения, с превалированием разломов с различной степенью активизации и областей динамического влияния, с другой стороны, служат бесспорным и уже не новым аргументом необходимости разработки новых сейсмических шкал на новой концептуальной основе. Много лет тому назад серьезное внимание необходимости создания новой шкалы сейсмической интенсивности уделял Н.В. Шебалин [1997]. Основное внимание, к сожалению, в не во всем завершенных исследованиях Н.В. Шебалина, было направлено на совершенствование различных критериев оценки балльности землетрясений всевозможными методами. Сейсмическая шкала по-прежнему концептуально рассматривалась как усовершенствованный «измерительный» документ, в том числе пригодный для использования в многообразных сейсмических и административно-географических регионах. Сегодня сложно говорить о возможности составления измерительного инструмента, пригодного для эксплуатации в очень широких природно-климатических, сейсмических и инженерно-геологических условиях, то есть общероссийской шкалы сейсмической интенсивности.

Более того, несколько лет тому назад Я.М. Айзенберг [1998] своевременно поставил проблему необходимости разработки нормативных документов по сейсмостойкому строительству нового поколения. В этой работе аргументирована надобность разработки новых СНиП'ов федерального уровня,

дополненных региональными пособиями или рекомендациями по проектированию, «которые учитывали бы местные условия: строительные материалы, национальные традиции, сейсмологические особенности» (стр. 47). С нашей точки зрения, рекомендации профессора Я.М. Айзенберга полностью применимы и для шкал сейсмической интенсивности.

Авторским коллективом предлагается для обсуждения новый тип шкал сейсмической интенсивности – региональный, базирующийся на сочетании двух концептуальных подходов. Они связаны с необходимостью 1) учитывать многообразные исходные региональные параметры природной и социальной среды и 2) уметь предсказывать вероятность возникновения оцениваемой ситуации. Ориентировочный прогнозный характер имеет любой измерительный документ, хотя в большинстве случаев это автоматически входит в наше сознание и этому факту мы не придаем особого значения. Таким образом, сейсмическая шкала должна не только служить измерительным, констатирующим элементом, но и выполнять элементарные прогнозные функции.

Первоначально разработанная на примере Прибайкалья [Шерман и др., 2003] и совершенствующаяся в настоящее время региональная шкала сейсмической интенсивности (РШСИ) в равной степени должна базироваться на макросейсмических, инструментальных и геодинамических факторах. Макросейсмические данные позволяют оценить балльность произошедшего сейсмического события по результатам его воздействия на объекты и субъекты. Эти сведения дают основание впоследствии корректировать строительные нормы и правила. Инструментальные характеристики землетрясений наиболее важны на стадии проектирования конструкций, чтобы выбрать наиболее оптимальный тип сооружений и, при необходимости, предусмотреть их сейсмостойкость. Это один из важнейших многогранных факторов прогностической функции шкалы для строительных норм и правил. Геодинамические факторы призваны по остаточным явлениям на земной поверхности

оценить балльность произошедшего события, учитывая при этом геодинамический режим, геолого-структурную обстановку и инженерно-геологические условия региона. Они, остаточные явления на земной поверхности, могут быть разными при одной и той же интенсивности землетрясений. Например, при сейсмических событиях интенсивностью в шесть-семь баллов трещины могут быть крупными и широкими, если развиваются в прочных и слабых грунтах, или практически отсутствовать в скальных породах. То есть, конкретные геолого-геофизические свойства среды существенно влияют на параметры формирующихся остаточных постсейсмических деформаций. Эти же аргументы и комплекс геолого-геофизических параметров среды играют существенную роль и в прогнозной функции шкалы. На их основе, до сейсмических событий, могут быть оценены ожидаемые последствия для определенных площадей с возможными сооружениями и объектами. И это может быть выполнено быстро и, как показал сравнительный анализ, без потери необходимой точности [Шерман и др., 2003] до проведения, в случаях необходимости, дорогостоящего микросейсмического районирования.

Таким образом, разрабатываемая авторами конструкция РШСИ является комплексной, сочетающей в себе реакцию антропогенной и геологической среды на сейсмические события, числовые характеристики движений грунта или скального основания и геодинамические факторы, способные их усилить или ослабить. В этом плане инструментальные и геодинамические составляющие РШСИ выполняют и констатирующие, и прогнозные функции. Только до определенной степени эти функции сопоставимы с сейсмическим районированием, но, безусловно, ни в какой мере его не заменяют. Сочетание трех групп факторов – макросейсмических, инструментальных и геодинамических – расширяет возможности РШСИ, превращая ее из узкооценочного методического измерительного инструмента еще и в прогнозный. Последнее особенно важно для оценки долговременной сейсмобезопасности в сейсмостойком строительстве.

Принципиальная структура региональной шкалы сейсмической интенсивности

Сейсмическая шкала – инструмент активного использования в сейсмоактивных областях и весьма востребованный документ при разработке строительных норм и правил. Какой бы аргументированной и удобной для использования ни была любая новая разработка, она должна содержать в себе элементы преемственности по определяющим параметрам. В этом плане РШСИ сохраняет 12-балльную классификацию сейсмической интенсивности, облегчая преемственность по отношению к действующей шкале MSK-64. Во всем остальном – она существенно или менее существенно отличается.

РШСИ состоит из трех независимых блоков, соответствующих самостоятельным базовым методам исследований: микросейсмическим, инструментальным и геодинамическим (рис.). Их объединяет принципиальный подход к документации наблюдаемых фактов – количественная характеристика объектов, процессов и других проявлений, что позволяет в дальнейшем работать с исходными материалами шкалы в компьютерном режиме. Каждый из методов оперирует наблюдаемыми и измеряемыми характеристическими данными, которые, как правило, образуют статистические ряды. Ряды объединяют однотипные объекты, сооружения и/или их реакции на произошедшее событие.

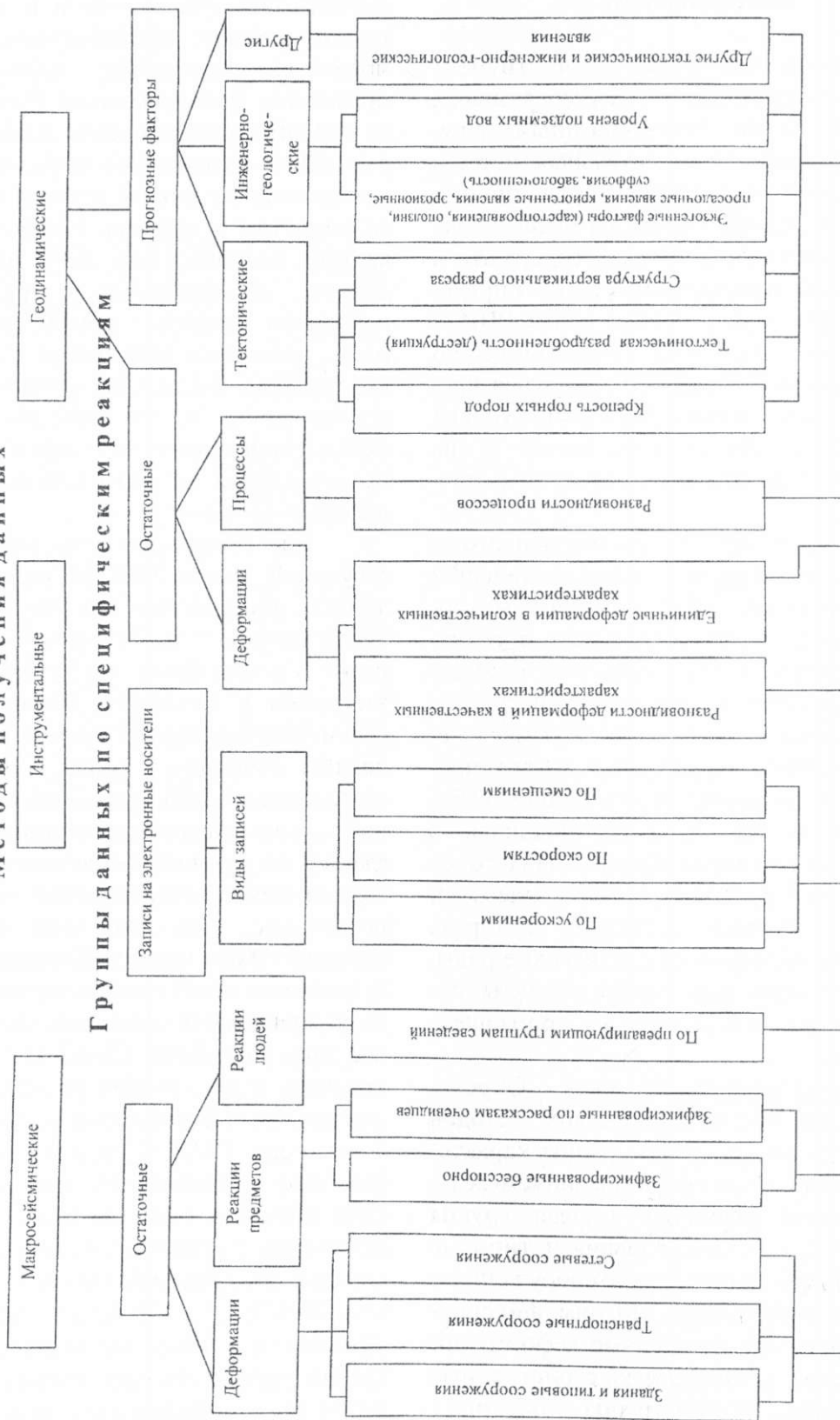
Макросейсмический блок. Определяющими для макросейсмических методов являются три независимых группы характеристических последствий, объединяемых по специфическим реакциям. Первая группа объединяет: (а) крупные здания и типовые сооружения; (б) транспортные сооружения и (в) сетевые сооружения. По ним фиксируются необратимые бесспорные деформации и повреждения, специфически свойственные каждой группе. Вторая группа объединяет реакции предметов быта. Статистический набор данных здесь происходит по двум направлениям – зафиксированные бесспорные события (падение книг с книжных полок,

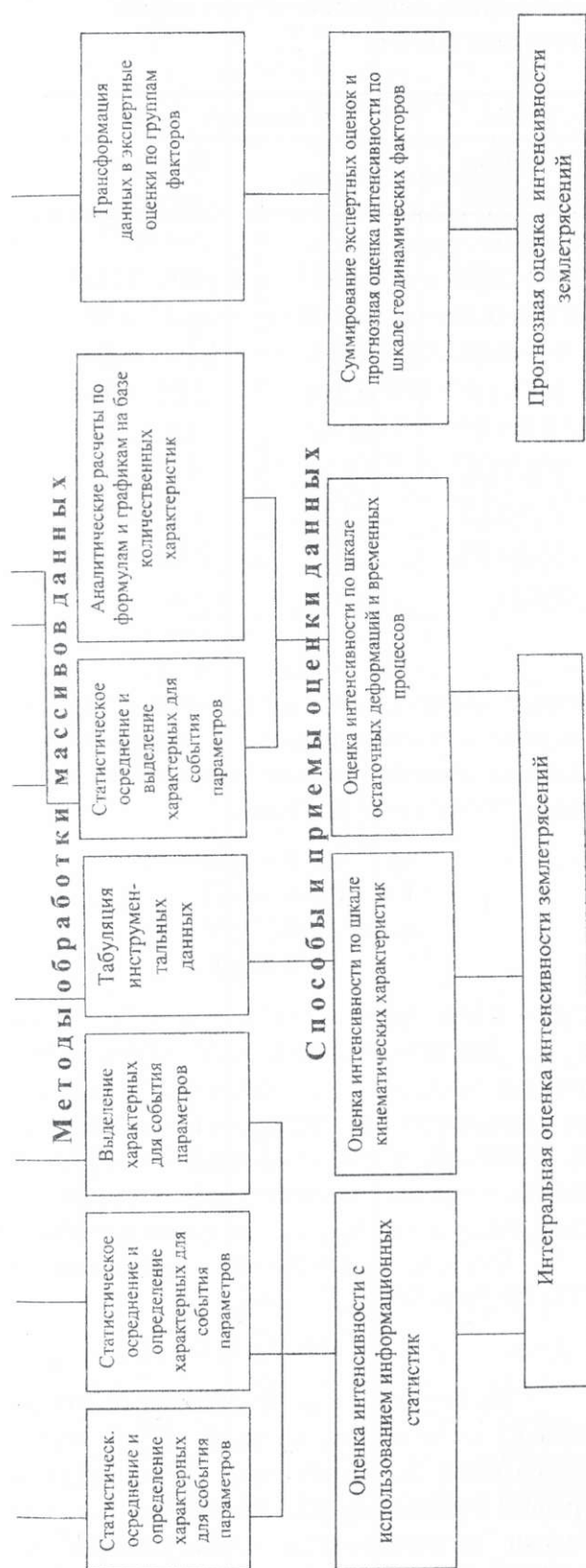
падение и поломка посуды и т.п.) и рассказы о наблюдаемых событиях (качание люстр, слышимость гула и шумов и т.п.). В этой группе данных превалирующее значение придается количеству зафиксированных признаков, суммирование которых позволяет получить статистически достоверную средненную реакцию по определяющим характеристикам второй группы последствий сейсмического события. Наиболее сложная картина возникает при сборе описательных данных, объединяемых в третью группу признаков – реакции людей. Здесь при опросах очевидцев выявляется весьма широкий разброс сведений, причины которого хорошо ясны. За счет большой статистической выборки можно получить достоверные представления об интенсивности произошедшего события.

Как известно, в классификацию действующей шкалы MSK-64 включены лишь здания, построенные без необходимых антисейсмических мероприятий, что противоречит сложившейся структуре городской застройки в Восточной Сибири, где доля сейсмостойких зданий составляет более половины жилищного фонда. Поэтому одной из основных задач при создании региональной шкалы стала разработка классификации зданий по уровню их сейсмостойкости на единой научно-методической основе безотносительно того, относятся ли здания к сейсмостойким или нет [Бержинский, 1999]. В качестве такой основы использовано понятие траекторий состояния зданий, введенное при разработке СНиП II-7-81* в соответствии с концепцией расчета зданий на два уровня сейсмического воздействия [Поляков и др., 1979]. С учетом этого в классификацию региональной шкалы сейсмической интенсивности введены пять классов зданий по уровню их сейсмостойкости (в порядке его примерно линейного убывания): С9, С8, С7, С6 и С5. Класс здания устанавливается с учетом конструктивного типа здания, уровня его регулярности, уровня качества строительства и степени физического износа. Последние три класса соответствуют зданиям типа В, Б и А по шкале MSK-64. Отнесение конкретного типа здания к тому или иному классу по уровню сейсмостойко-

РШСИ

Методы получения данных





сти осуществляется с использованием простейших методов кластерного анализа на основе меры близости их траекторий состояния в многомерном признаковом пространстве.

Осредненные, статистически обеспеченные данные интегрируются по группам и по табличным признакам и расчетам, в том числе с применением информационных статистик, трансформируются в количественный показатель интенсивности произошедшего землетрясения. Принципиальный путь показан в приложении 1, более детальная работа с которым описана в работе [Шерман и др., 2003].

Инструментальный блок. На территории Российской Федерации до настоящего времени официально продолжает действовать шкала сейсмической интенсивности ГОСТ 6249-52, которая входит практически полностью в инструментальную часть шкалы MSK-64. Разрабатываемая РШСИ также базируется на корреляции сейсмической интенсивности с различными кинематическими характеристиками движений скальных или слабо сцементированных горных пород. Конкретные значения корреляционных связей по обработке мировых данных известны [Шерман и др., 2003; Аптикаев, 1999; и мн. др.]. Для различных сейсмоактивных регионов они будут несколько отличаться [Шерман и др., 2003; и мн. др.]. Для Прибайкалья соотношения интенсивности землетрясений и кинематических характеристик движений грунтов представлены в табл. 1.

Приведенная инструментальная часть РШСИ для Прибайкалья заметно отличается от действующей в РФ шкалы MSK-64 как абсолютными значениями скоростей и ускорений, так и шагом. Аналогичную ситуацию следует ожидать и в других сейсмоактивных регионах. Именно такого типа региональные, а не общемировые усредненные характеристики должны использоваться в РШСИ.

В качестве методического инструмента здесь использована новая модель инструментальной шкалы, разработанная Ф.Ф. Аптикаевым [1999] на вероятностной основе. При построении инструментальной части региональной шкалы использованы записи слабых и ощутимых землетрясений, зарегистрированных в Байкальской сейсмической зоне.

Соотношение балльности и амплитуд ускорений, скоростей и смещений колебаний для Прибайкалья, 2001 г.

I, баллы	Ускорения, A, см/с ²		Скорости, V, см/с		Смещения, S, см	
	Медиана	Интервал значений	Медиана	Интервал значений	Медиана	Интервал значений
1	-	<0.8	-	<0.05	-	<0.0013
2	1.1	0.8-2.0	0.05	0.03-0.075	0.0013	0.0005-0.0026
3	2.8	2.1-5.0	0.15	0.076-0.22	0.0062	0.0027-0.012
4	7	5.1-12.5	0.44	0.23-0.66	0.03	0.013-0.06
5	17.5	12.6-31.5	1.3	0.67-1.9	0.014	0.07-0.29
6	44	31.6-78.1	3.8	2.0-5.9	0.66	0.3-1.38
7	110	78.2-200	11	6.0-17.8	3.2	1.39-6.6
8	280	201-488	33	17.9-53.5	15	6.7-31.7
9	700	489-1200	100	53.6-160	72	31.8-150
10-12	Нет данных					

Геодинамический блок. Подобный блок впервые предлагается вводить в РШСИ. Он состоит из трех групп данных: остаточные структуры и наблюдаемые кратковременные процессы на земной поверхности; статистические (математические) зависимости между размерами остаточных структур и интенсивностью (или магнитудой) сейсмических событий; прогнозные геодинамические факторы. Группа остаточных структур и кратковременных процессов включает наиболее типичные их проявления, характерные для произошедших землетрясений соответствующей интенсивности. В принципиальном отношении она соответствует шкалам MSK-64 и INQWA [The INQWA SCALE, 2004], данным из работы [Шерман и др., 2003] с добавлениями и изменениями, зарегистрированными при сильных землетрясениях 1995-2004 гг. (приложение 2). Все зафиксированные данные обрабатываются и при их статистической надежности используются для оценки балльности.

Вторая группа данных связана с непосредственной математической оценкой произошедшего события по параметрам остаточных явлений. Принципиально методика ее определения не отличается от предыдущей схемы, но позволяет по единичным

четким параметрам остаточных структур оценивать интенсивность I сейсмических событий. Аналитические зависимости могут быть оценены по уравнениям:

$$\begin{aligned} I &= 7.5 + 0.47 \lg l; \\ I &= 7.84 + 0.72 \lg D; \\ I &= 6.74 + 0.33 \lg V; \\ I &= 5.59 + 0.87 \lg L, \end{aligned}$$

где I – длина трещин, м; L – длина разломов, м; D – ширина оползня, м; V – объем смещенных масс, м³ [Шерман и др., 2003], или по уравнениям Дж. Андерсона [Anderson, et al., 1996]: $M_w = 5.12 + 1.16 \lg L - 0.20 \lg S$, где M_w – момент магнитуды, L – длина разрыва, км, и S – скорость смещения в мм/год.

Близкие зависимости приведены в [The INQWA SCALE, 2004]:

$$I = 0.5503 \ln L + 7.861.$$

Проведенные количественные исследования остаточных явлений, в том числе наблюдения за изменением температур и уровней подземных вод, дают основания для оценки интенсивности землетрясений по этой группе данных.

Третья группа связана с прогнозными геодинамическими факторами. Это особый, впервые вводимый раздел сейсмической шкалы, основная цель которого – потенци-

альная оценка вероятной интенсивности в интересующих исследователя регионах или их локальных местах исходя из конкретных геолого-структурных и инженерно-геологических условий. Группа вводится в шкалу в связи с серьезными изменениями инженерно-геологических условий территорий, вызываемыми техногенной нагрузкой на верхние слои Земли. Она объединяет геологические, тектонические, неотектонические, инженерно-геологические, гидрогеологические и геоморфологические факторы, которые, в свою очередь, при необходимости классифицируются детальнее. Это увеличивает количество факторов оценки сейсмической интенсивности и, главное, расширяет возможности шкалы, дополняя её констатационный характер возможностями прогноза на количественном или полуколичественном уровнях. Факторы дают возможность провести экспресс-оценку потенциальной сейс-

мической опасности и устойчивости территории с точки зрения пригодности её для социального освоения. Выделяется шесть основных геодинамических факторов, каждый из которых в зависимости от конкретных региональных условий может дополнительно детализироваться. Для трансформации факторов в числовую форму используется метод экспертных оценок. При этом максимальная сумма экспертных числовых величин не может превысить 240.

Остановимся кратко на основных шести геодинамических факторах и критериях выбора их экспертных оценок.

1. Геодинамическая активность литосферы и ее сейсмический потенциал. Этот показатель оценивается по ряду признаков, на базе которых по степени геодинамической активности литосферы территория может быть отнесена к одному из пяти типов (табл. 2).

Таблица 2

Геодинамическая активность литосферы, ее сейсмический потенциал и его экспертная оценка

Интегральный показатель геодинамической активности литосферы [Логачев и др., 1990]	1	2	3	4	5
Максимальная магнитуда зарегистрированных землетрясений	<5.7	5.7-6.5	6.5-7.0	7.0-7.3	>7.3
Сейсмический потенциал в баллах	<6	6-7	7-8	8-9	>9-11
Экспертная оценка	<120	120-140	140-160	160-180	>180

Геодинамическая активность литосферы может быть рассчитана [Логачев и др., 1990] или в настоящее время взята по «Комплекту карт...» [1999]. Она является исходной фоновой характеристикой территории по вероятной интенсивности сейсмических событий.

2. Прочность горных пород. Она оценивается величиной, обратной прочности горных пород f по М.М. Протоdjяконову [1955] с корректурой на региональные характеристики пород (табл. 3).

В основе инженерно-геологических факторов лежат типы пород, их крепость или комплексы пород. Основным показателем является крепость горных пород f по М.М. Протоdjяконову. Она определяется при испытании горных пород на сжатие: $f = \sigma/100$ (см. табл. 3). Экспертная оценка для каждой породы определялась примерно как $10/f$. Предлагается выделить шесть комплексов пород, отличающихся своей крепостью f . В данном случае показатель f определяется нами как усредненный из средней

крепости типов пород, входящих в комплекс. На прочностные константы массивов горных пород существенное влияние оказывает степень тектонической деструкции региона - количество разломов длиной более 1 км на 1 км² или м².

Таблица 3
Прочность горных пород и их
экспертная оценка

Категории	Степень крепости	f	Экспертная оценка
I	В высшей степени крепкие породы	20	0.5
II	Очень крепкие породы	15	0.6
III	Весьма крепкие породы	10	1-1.2
IV	Крепкие породы	5	2
V	Породы средней крепости	4	2.5-3.3
VI	Довольно мягкие породы	2	5-7
VII	Мягкие породы	1.0	10-12
VIII	«Землистые» породы	0.6	16
IX	Сыпучие породы	0.5	20

3. Степень тектонической деструкции (нарушенности) пород района. Она характеризуется наличием региональных и локальных разломов (количество разломов длиной более 1 км на 1 км² или м²) и областями их динамического влияния [Шерман и др., 1983]. Экспертная оценка зависит от ранга разлома и расстояния локальной исследуемой площади до его осевой линии. Здесь минимальная экспертная оценка равна нулю, максимальная - 2.

4. Структура вертикального разреза. Характеризуется однородным или слоистым строением, в зависимости от которого экспертная оценка изменяется от 1 до 4. Опыт работ в Восточной Сибири показывает, что исследований на 10-метровые глубины по вертикальному разрезу верхней части коры недостаточно. Уровень глубин и сложность вертикального разреза необходимо учитывать. По этой причине в РШСИ вводится

показатель, отражающий вертикальную структуру разреза.

5. Степень обводненности горных пород и положение верхнего уровня грунтовых вод. Они оказывают существенное влияние на прочностные свойства геологического субстрата. РШСИ должна предусматривать три границы уровня грунтовых вод, минимальный из которых исходя из опытных данных для Прибайкалья принят равным 5 метрам или менее. Экспертная оценка для этого уровня принята максимальной, соответствующей приращению сейсмичности на 1 балл, для каждого последующего, более глубокого уровня с шагом в 5 или 10 м, она уменьшается в логарифмическом масштабе. Обводненность разреза и слагающих его пород характеризуется экспертными оценками от 0 до 2 в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод.

6. Степень развития экзогенных процессов. Имеются в виду семь наиболее распространенных и значимых главных процессов и явлений - карстопроявление, оползневые, просадочные, криогенные, эрозионные, суффозия и заболоченность - каждый из которых, за исключением двух последних, по степени развития подразделяется на слабую, среднюю и высокую интенсивность. Перечисленные процессы и проявления имеют громадное, подчас определяющее, значение при тектоническом нарушении стабильности коры. Экспертная оценка каждого из них может изменяться от 1 до 6.

Предложенная группа геодинамических факторов в своей совокупности позволяет уточнить потенциальную сейсмическую опасность. В случае отсутствия прямых данных о сейсмичности и/или результатах исторических землетрясений геодинамическая часть РШСИ дает возможность для локальных мест получить в первом приближении данные, аналогичные результатам сейсмического микрорайонирования, проведенного традиционными методами.

В последнее десятилетие на подобной концептуальной основе с применением метода экспертных оценок выполнено много работ [Лобацкая, Кофф, 1992; Кофф, Лобацкая, 1991; Лобацкая и др., 1997], в том числе

проведено районирование территории Китая по степени относительной стабильности земной коры [The map..., 1997]. Факторы, определяющие относительную стабильность земной коры, несколько отличаются от предложенных геодинамических, что вызвано существенно большими площадями и, следовательно, меньшей детальностью работ. Китайские исследователи составили

мелкомасштабную карту стабильности земной коры, то есть в основу построения положили факторы, обратно пропорциональные её сейсмической интенсивности.

В табл. 4 приведена общая схема оценки относительной стабильности территорий на базе предлагаемой РШСИ и ее соотношение с балльностью по другим 12-балльным шкалам.

Таблица 4

Соотношение сейсмической интенсивности, инженерно-геологических факторов и относительной стабильности территорий

Сейсмическая интенсивность в баллах по EMSK-64, ESK-92 с уточнением	Сумма экспертных оценок по геодинамическим факторам РШСИ	Относительная устойчивость территорий для прогноза необходимой сейсмостойкости сооружений
12	240	весьма неустойчивая (не пригодна)
11	220	
10	200	
9	180	весьма неустойчивая
8	160	неустойчивая
7	140	
6	120	устойчивая
5	100	
4	80	весьма устойчивая
3	60	
2	20	весьма устойчивая

Таким образом, интегральный учет геодинамических факторов позволяет не только уточнить исходную балльность территорий, но и выполнить функции экспресс-прогноза. При таком построении РШСИ: 1) сохраняет преемственность с известными шкалами по уже достигнутым и оправдавшим себя наработкам; 2) существенно усиливает не только констатационную, но и прогнозную функцию, которую должна нести региональная шкала; 3) сохраняет единый количественный принцип оценки факторов, лежащих в основе шкалы; 4) позволяет сопоставлять констатирующую и прогнозную части шкалы; 5) предлагает качественную прогнозную оценку регионов по степени относительной стабильности территорий и их потенциальной приемлемости для освоения.

Заключение

В статье очень кратко освещены основные проблемы, связанные с построением региональных шкал сейсмической интенсивности, и определены пути их решения. Как отмечено, региональная шкала носит интегральный характер: интенсивность произошедшего землетрясения определяется по совокупности факторов, полнота и достоверность которых неоднородны. По существу, вопрос об интегральной оценке балльности по совокупности учитываемых факторов сводится к вопросу объединения макросейсмических, инструментальных и геодинамических признаков в одно пространство. Более подробно эти методические вопросы планируется обсудить в отдельных публикациях по макросейсмическим, инструмен-

тальным и геодинамическим методам, определяющим концепцию построения РШСИ и интегрирования результатов в бесспорный балл оценки интенсивности землетрясений. Этой публикацией авторы акцентируют внимание исследователей на устаревших принципах построения сейсмических шкал и потере доверия к их использованию в СНиП, на актуальности и назревшей необходимости создания принципиально новых региональных шкал сейсмической интенсивности и введения их в региональные нормативные документы и региональные СПиГы. Подобными действиями будет внесен существенный вклад в обеспечение долговременной безопасности сейсмостойкого строительства.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Интеграционного проекта ИГ СО РАН-101/2003.

ЛИТЕРАТУРА

- Айзенберг Я.М.* Разработка концепции системы нормативных документов по сейсмостойкому строительству нового поколения // Сейсмостойкое строительство. - 1998. - № 5. - С. 44-47.
- Антикаев Ф.Ф.* Проблемы создания шкалы сейсмической интенсивности нового поколения // Вулканология и сейсмология. - 1999. № 4-5. - С. 23-28.
- Бержинский Ю.А.* Методические основы классификации зданий по уровню их сейсмоусиления // 3-я Российская конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию: Тезисы докладов, г. Сочи, октябрь 1999г. - М.: 1999. - С.72-73.
- Комплект карт сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97.* Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка / Под ред. В.Н. Страхова, В.И. Уломова. - М.: ОИФЗ, 1999. - 57 с.
- Кофф Г.Л., Лобацкая Р.М.* Изучение разломов при инженерно-геологических исследованиях в сейсмоактивных областях. - Варшава: ПГИ, 1991. - 224 с.
- Лобацкая Р.М., Кофф Г.Л.* Методика интегральной оценки устойчивости геологической среды городов в сейсмоактивных областях (на примере г. Еревана) // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. - 1992. - № 4. - С. 17-26.
- Лобацкая Р.М., Серова Г.Е., Кононов Е.Е., Аузина Л.И.* Оценка устойчивости геологической среды г. Иркутска к сейсмогенным и техногенным воздействиям // Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г. Иркутска. - Иркутск: ИрГТУ, 1997. - С. 9-21.
- Логачёв Н.А., Шерман С.И., Леви К.Г.* Геодинамические режимы и факторы геодинамической активности литосферы // Геодинамика внутриконтинентальных горных областей. - Новосибирск: Наука, 1990. - С. 299-307.
- Поляков С.В., Айзенберг Я.М., Ойзерман В.И.* О проекте новой главы СНиП II-7 «Строительство в сейсмических районах» // Строительная механика и расчет сооружений. - 1979. - №4. - С. 56-61.
- Протодьяконов М.М. (мл.)* Коэффициент крепости f горных пород проф. М.М. Протодьяконова // Вопросы разрушения и давления горных пород. М.: Углетехиздат, 1955. - С. 42-55.
- Шебалин Н.В.* Избранные труды. Сильные землетрясения. - М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. - 542 с.
- Шерман С.И., Берзинский Ю.А., Павленов В.А., Антикаев Ф.Ф.* Региональные шкалы сейсмической интенсивности (опыт создания шкалы для Прибайкалья). - Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2003. - 189 с.
- Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю.* Области динамического влияния разломов. - Новосибирск: Наука, 1983. - 101 с.
- Anderson J.G., Wesnousky S.G., Stirling M.W.* Earthquake size as a function of fault slip rate // Bull. Seism. Soc. America. - 1996. - V. 86, № 3. - P. 683-690.
- European Macroseismic Scale 1998. EMS-98 /* Edit. G. Grunthal. - Luxembourg, 1998. - 99 p.
- The INQWA SCALE. Special paper /* Editors Eutizio Vittori, Valerio Comerci. System Cart Srl. - Roma, 2004. - 116 p.
- The map of regional crust stability of China.* Scale 1:5000000 / Chief Compiler Yi Mingchu. - Beijing, China: Geological Publishing House, 1997.

Модель – схема региональной макросейсмической шкалы

	К л а с с и ф и к а ц и я			Интегральная оценка интенсивности		Использование информационных статистик
	видов и типов объектов	степени реакции	по типам объектов	по видам объектов		
Статистические макросейсмические данные о реакции объектов (шкала интервалов)	Здания и типовые сооружения v = 1	Конструктивные типы зданий	$\bar{d} = \frac{\sum n_i d_i}{\sum n_i}$	$\bar{I} = \frac{\sum J_i f_i}{\sum f_i}$ $\bar{f}_i = \frac{\sum n_i}{\sum v k_i}$	d- кол-во объектов данного типа, вида, k- 5, 2, 1 в зависимости от степени близости реакции к порогу чувствительности или зоне насыщения реакции	Преобразование поля макросейсмических признаков E в поле макросейсмической интенсивности (бальности) I на основе меры условной вероятности признаков P(E/I)
	Классы зданий по уровню сейсмостойкости C9 C8 C7 C6 C5					
	Люди v = 2	L1, L2, L3, L4	$\bar{I} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum n_i}$	l = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6		
Предметы быта v = 3	P1, P2, P3, P4, P5	$\bar{p} = \frac{\sum n_i p_i}{\sum n_i}$	p = 0, 1, 2			
Описательные макросейсмические данные (шкала порядка)	Сетевые и транспортные сооружения				$k_j \cdot v = 2$	
	Элементы ландшафта				$k_j \cdot v = 10$	
	Прочие макросейсмические признаки				$k_j \cdot v = 4$	

Примечание: Отнесение конструктивного типа здания к классу здания по уровню сейсмостойкости производится на основе меры сходства их траекторий состояния.

Деформационные остаточные формы, характерные для землетрясений различной интенсивности

ИНТЕНСИВНОСТЬ, БАЛЛЫ	ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ
I	Видимых макроскопических деформаций и изменений параметров окружающей среды не фиксируется.
II	Видимых макроскопических деформаций и изменений параметров окружающей среды не фиксируется. Исключительно редкие изменения могут быть зафиксированы только инструментальными методами.
III	Вероятны видимые макроскопические деформации и изменения параметров окружающей среды. Исключительно редкие изменения уровня воды в скважинах и колодцах.
IV	Очень незначительные деформации и изменения параметров окружающей среды. Образование небольших, первые сантиметры, трещин в рыхлых грунтах и аллювиальных отложениях. Редкие изменения уровня воды в скважинах и колодцах. Появление волн в озерах, взбалтывание воды в колодцах, скважинах и карстовых воронках. Небольшие подвижки по известным оползням на крутых, более 15°, склонах, падение камней. Покачивание высоковольтных проводов и, реже, деревьев.
V	Незначительные деформации и изменения параметров окружающей среды. Образование трещин и систем трещин в рыхлых грунтах, редкие трещины в скальных породах. Редкие трещины на асфальтовых покрытиях. Изменения уровней воды в скважинах и колодцах, взбалтывание воды в закрытых водоемах и озерах. Подвижки по оползням и редкое появление новых оползней на крутых склонах с глинистыми почвами. Покачивание проводов и деревьев.
VI	Слабые деформации и изменения параметров окружающей среды. Трещины до метров в длину в слабых грунтах, сантиметровые по длине трещины в скальных породах, трещины на асфальтовых покрытиях и грунтовых дорогах. Заметные (сантиметры) изменения уровней воды в скважинах и колодцах, взбалтывание и перемешивание воды в закрытых водоемах, скважинах и колодцах. Формирование волн в больших по площадям водоемах. На склонах камнепады, активизация имеющихся и формирование новых оползней объемом в десятки и сотни кубических метров. На песчаных почвах редкое формирование воронкообразных углублений, иногда с небольшим увлажнением. Редко – формирование карстовых воронок и провалов. Качание высоковольтных проводов и высоких деревьев.
VII	Деформации и изменения параметров окружающей среды. Интенсивная трещиноватость в рыхлых отложениях, в том числе с преобладанием открытых до 5-7 см трещин. Протяженные до десятков сантиметров, реже метров, тонкие, волосяные трещины в скальных породах. Трещины на асфальтовых покрытиях и грунтовых дорогах. Взбалтывание воды в крупных водоемах, появление волн на их поверхностях. Временное изменение скорости и объема текущей воды в ручьях. Формирование оползней и обвалов на крутых и реже пологих склонах. Камнепады. Оседание почвы в суглинках. Формирование карстовых воронок и провалов. Интенсивное качание высоковольтных проводов и деревьев.

VIII	<p>Интенсивные деформации и изменения параметров окружающей среды. Появление разрывов в грунтах и скальных породах длиной в десятки и сотни метров и зиянием от десятков сантиметров в рыхлых отложениях и до сантиметра – в скальных. Формирование грабенообразных и горстообразных форм с амплитудами до первых сантиметров. Изменение температуры и уровня вод в скважинах и колодцах. Фиксируется взбалтывание воды в озерах и искусственных водоемах, а также образование на водной поверхности крупных волн. Могут образовываться небольшие фонтаны на берегах крупных рек и озер. Формирование оползней, в том числе и на пологих склонах. В песчаных отложениях могут образовываться воронкообразные углубления в диаметре до 1 м. Фиксируются обрушения карстовых сводов. Сильное раскачивание высоковольтных проводов, троллейбусных и трамвайных электросетей. Заметное раскачивание деревьев вплоть до обламывания крупных ветвей. Трещины на асфальтовых покрытиях и грунтовых дорогах, часто зияющие. На проселочных дорогах могут появляться пылевые завихрения.</p>
IX	<p>Весьма интенсивные деформации и изменения параметров окружающей среды. В скальных породах образуются разрывы длиной до нескольких километров со смещениями обычно до 10-20 см. Формируются небольшие грабены и горсты с максимальными амплитудами в десятки сантиметров. Исключительно много трещин шириной до 50-100 см в рыхлых отложениях и/или насыщенных водой почвах. Значительные трещины наблюдаются на дорогах, покрытых асфальтом или «плотных» грунтовых, а также появляются мелкие складки и бугры выжимания. Могут фиксироваться существенные изменения температуры и уровня грунтовых вод в колодцах и скважинах. В крупных искусственных и естественных водоемах происходит интенсивное взбалтывание и перемешивание воды. Волны высотой до 50 см развиваются в водоемах и в широких водных потоках. Мелкие цунами могут достигать береговых зон с приливными волнами высотой до 50-100 см. Образуются водные фонтаны в закрытых водоемах. Некоторые мелкие ручьи могут пересохнуть. Образование крупных оползней с объемами смещаемых масс в первые сотни куб. метров, вероятное перегораживание оползнями узких долин и образование запруд для постоянных и временных водных потоков. Вероятно обрушение крутых берегов, уступов, искусственных дамб и карьеров. В песчаных отложениях фиксируется образование воронкообразных углублений до 3 м в диаметре. Редко – грязевые извержения. Могут происходить значительные обрушения карстовых сводов с образованием карстовых пустот и воронок. Деревья качаются, их ветви и даже стволы часто ломаются и падают. Качаются опоры линий электропередач. В сухих зонах могут подниматься пылевые облака. Мелкие камни могут «выжиматься» из грунтов, оставляя характерные отпечатки на мягких почвах.</p>
X	<p>Необратимые крупные деформации и изменения параметров окружающей среды. Образуются разрывы в грунтах и скальных породах. Разрывы располагаются в один-три ряда эшелонированно, кулисно или могут с перерывами следовать по простиранию группа за группой на несколько десятков километров, смещения по отдельным дислокациям могут достигать 50-100 см, редко более. Амплитуда смещений зависит от типа реализаций напряжений в очаге. Ширина открытых трещин в грунтах может достигать метра и более. Активно развиваются гравитационные грабены и взбросы, удлиненные депрессии или валы сжатия длиной до 15-20 м и высотой поднятия или глубиной опускания до первых метров. Активное развитие оползней и камнепадов, образование которых практически не зависит от крутизны склонов. Образуются временные или постоянные</p>

X	<p>озера. Часто происходит обрушение крутых берегов рек, искусственных дамб и карьеров. Намывные и земляные дамбы могут быть подвержены серьезным разрушениям. Может существенно измениться скорость течения поверхностных вод и дебит источников. Некоторые мелкие ручьи могут пересохнуть или исчезнуть, но обычно на некоторое время. Наблюдаются изменения уровня и температуры вод в колодцах и скважинах. Вода в озерах и реках, а также в ручьях часто взбалтывается и становится мутной и грязной. Крупные обрушения карстовых сводов с образованием больших воронок и пустот. В больших открытых и изолированных водоемах развивается сильное волнение, которое может частично разрушить берега. Могут выходить из берегов каналы и озера. Цунами достигают береговых зон с приливными волнами высотой до нескольких метров. Деревья сильно качаются; очень часто ломаются и падают ветви и даже стволы деревьев, бывших уже в неустойчивом равновесии. Качаются опоры электропередач. В сухих зонах могут подниматься пылевые облака. Даже закрепленные в почве камни могут «выжиматься» из грунта, оставляя характерные остаточные отпечатки на мягких почвах. Широкие трещины и расколы, бугры выжимания или провалы развиваются на грунтовых и асфальтовых дорогах.</p>
XI	<p>Крупные катастрофические необратимые деформации и изменения параметров окружающей среды. Активизируются крупные и образуются новые разломы, которые на земной поверхности могут достигать нескольких десятков и даже сотни километров и иметь смещения амплитудой в несколько метров. Очень много открытых региональных трещин шириной в несколько метров, главным образом в рыхлых аллювиальных осадках или выветрелых трещиноватых породах. В скальных породах трещины могут иметь зияние до 1 м. Развиваются гравитационные грабены, удлиненные депрессии и складки, валы выпучивания. Может фиксироваться опускание или поднятие земной поверхности с максимальными амплитудами порядка нескольких метров. Частые крупные оползни и камнепады, практически мало зависящие от состояния склонов. Образование временных или постоянных озер в местах запруд от обвалов и оползней. Обрушение крутых берегов рек, искусственных дамб и карьеров. Намывные и земляные дамбы могут быть подвержены серьезным разрушениям. Существенно изменяется скорость течения и/или объем потока русел многих ручьев. Наблюдаются изменения температуры и уровня вод в колодцах и скважинах. Фиксируется взбалтывание и помутнение воды в озерах, открытых водоемах и реках. Зияющие, очень широкие трещины развиваются на дорогах, покрытых асфальтом или грунтовых, а также появляются крупные складки и валы выпирания. Фиксируются крупные обрушения карстовых сводов с образованием пустот. Сильные волны развиваются в закрытых водоемах и в водных потоках и сильно разрушают берега. Могут выходить из берегов реки, каналы и озера. Цунами достигают береговых зон с приливными волнами многометровой высоты. Деревья сильно качаются; ломается много веток деревьев, и несколько стволов деревьев могут быть вырваны с корнем и повалены. Возможны падения опор высоковольтных линий. В сухих зонах могут подниматься пылевые облака. Камни и небольшие булыжники, даже хорошо закрепленные в почве, могут «выжиматься» из неё, оставляя характерные отпечатки на мягких почвах.</p>
XII	<p>Катастрофические, очень крупные необратимые деформации и изменения параметров окружающей среды. Разломы на земной поверхности могут с перерывами простираются на несколько сотен километров и иметь смещения длиной в несколько десятков метров. Очень много открытых трещин в грунтах и слабощементированных отложениях. Развиваются гравитационные грабены, удлиненные депрессии, складки и бугры выпучивания и давления. Дренажные</p>

XII

линии могут быть существенно смещены. Ландшафтные и геоморфологические изменения, возникшие вследствие первичных воздействий, могут быть очень значительными (характерными примерами являются поднятия или опускания береговых линий на несколько метров, появление или исчезновение значительных ландшафтных элементов), при этом реки частично изменяют русло, возникают водопады, образуются или исчезают озера. Много крупных оползней и камнепадов, практически независящих от крутизны склонов, что приводит к образованию временных или постоянных озер в тех местах, где образовались завалы и дамбы. Обычно происходит обрушение берегов рек, искусственных дамб и карьеров. Намывные и земляные дамбы могут быть подвержены серьезным разрушениям. Существенно изменяется скорость течения и/или объема воды в руслах ручьев и других небольших водотоков. Часто они пересыхают или вообще исчезают. Наблюдаются изменения температуры и уровня грунтовых вод в колодцах и скважинах. Вода в открытых водоемах, озерах и реках часто взбалтывается, становится мутной и грязной. Весьма вероятны очень крупные обрушения карстовых сводов с образованием пустот и провалов. Сильные волны образуются в стоячих и проточных водоемах, выходят из берегов реки, каналы и озера. Цунами достигают береговых зон с приливными волнами высотой в десятки метров. Деревья очень сильно качаются; ломается много ветвей, а некоторые деревья могут быть вырваны с корнем и повалены. Нарушаются опоры высоковольтных линий. В сухих зонах могут подниматься пылевые облака. Большие валуны могут «выжиматься» из земли, оставляя характерные отпечатки на мягких почвах.