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

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ШКАЛЫ**

**СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ – СОВРЕМЕННАЯ**

**АКТУАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА ДОЛГОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЕЙСМОСТОЙКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ[[1]](#footnote-1)\***

**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.

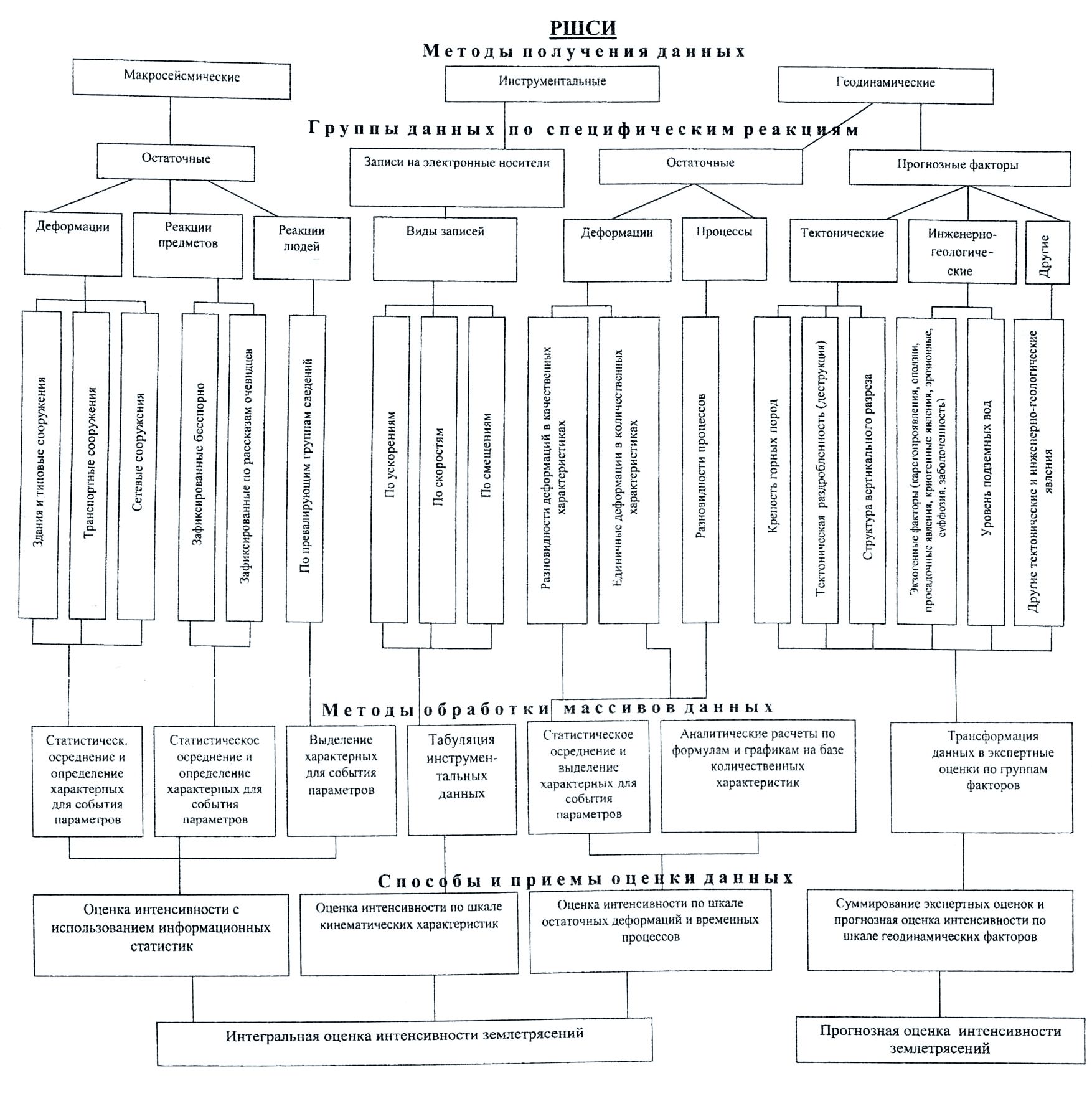
Таким образом, разрабатываемая ав­торами конструкция РШСИ является комплексной, сочетающей в себе реакцию ан­тропогенной и геологической среды на сейсмические события, числовые характеристи­ки движений грунта или скального основания и геодинамические факторы, способные их усилить или ослабить. В этом плане инструментальпые 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 нтенсивности**

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 отлич­на.

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 наблюденных 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 осредненную 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 сейсмостойкости 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.

Таблица 1

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

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| I,  баллы | Ускорения, А, см/с2 | | 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 | | | | | |

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.

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:

I = 7.5+0.471gl;

I = 7.84+0.721gD;

I = 6.74+0.331gV;

I = 5.59+0.871gL,

где 1 - 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]: Mw= 5.12+1.16 log L - 0.20 log S, где Mw - момент магнитуды, L - длина раз­рыва, км, и S - скорость смещения в мм/год.

Близкие зависимости приведены в [The TNQWA 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 - потенци­альная 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 сейс­мической 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). 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. Протодьяконову [1955] с корректурой на региональные характеристики пород (табл. 3).

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 |

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 |

В основе инженерно-геологических факторов лежат типы пород, их крепость или комплексы пород. Основным показате­лем является крепость горных пород *f* по М.М. Протодьяконову. Она определяется при испытании горных пород на сжатие: *f* = σ/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.

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 - карстопроявлепие, 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 темной 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 | весьма  неустойчивая |
| 9 | 180 |
| 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, инструментальным 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 СПиП'ы. 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.

Аптикаев Ф.Ф. Проблемы создания шкалы сейсмической интенсивности нового поколения // Вулканология и сейсмология. - 1999. № 4-5. - С. 23­28.

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 P.M. Изучение разломов при инженерно-геологических исследованиях в сейсмоактивных областях. - Варшава: ПГИ, 1991. - 224 с.

Лобацкая P.M., 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 P.M., Серова Г.Е., Кононов Е.Е., Лузина 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., Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Аптикаев Ф.Ф, Региональные шкалы сейсми­ческой интенсивности (опыт создания шкалы для Прибайкалья). - Новосибирск: Изд-во СО РАН. фи­лиал «ГЕО», 2003, - 189 с.

Шерман С.И., Бирняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов. - Новоси­бирск: Наука, 1983. - 101 с.

Anderson J.G., Wesnousky S.G., Stirling М. 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 Compailer Yi Mingchu. - Bei­jing, China: Geological Publishing House, 1997.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Модель-схема региональной макросейсмической шкалы

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Классификация | | | | Интегральная оценка интенсивности | | |
| Статистические макросейсмические данные о реакции объектов (шкала интервалов) | видов и типов объектов | | | степени реакции | Осреднение реакции | | Использова-ние инфор-мационных статистик |
| по типам объектов | по видам объектов |
| Здания и типо-вые сооруже-ния  ν = 1 | Классы зданий по уровню сейсмостой-кости  С9  С8  С7  С6  С5 | Конструктивные типы зданий | d = 0  1  2  3  4  5 |  | ni – кол-во объектов данного типа, вида;  ki – 5, 2, 1 в зависимости от степени близости реакции к порогу чувствительности или зоне насыщенной реакции | Преобразование поля макросейсмических признаков E в поле макросейсмической интенсивности (балльности) I на основе меры условной вероятности признаков P(E/I) |
| Люди  ν = 2 | L1, L2, L3, L4 | | l = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 |  |
| Предметы быта  ν = 3 | P1, P2, P3, P4, P5 | | p = 0, 1, 2 |  |
| Описатель-ные макро-сейсмические данные (шкала порядка) | Сетевые и транспортные сооружения | | | | | kiν = 2 |
| Элементы ландшафта | | | | | kiν = 10 |
| Прочие макросейсмические признаки | | | | | kiν = 4 |

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Деформационные остаточные формы, характерные для землетрясений различной интенсивности

|  |  |
| --- | --- |
| ИНТЕНСИВ-НОСТЬ, 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 изменении 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 изменении 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 5­7 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 | **Интенсивные деформации и изменении параметров окружающей среды.** По­явление разрывов в грунтах и скальных породах длиной в десятки и согни мет­ров и зиянием от десятков сантиметров в рыхлых отложениях и до сантиметра - в скальных. Формирование грабенообразных и горстообразиых 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. |
| IX | **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 игорсты 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. |
| X | **Необратимые крупные деформации и изменения параметров окружающей среды.** Образуются разрывы в грунтах и скальных породах. Разрывы располага­ются в один-три ряда эшелонирование, 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 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 карс товых сводов с образованием больших воронок и пустот. В больших открытых и изолирован­ных водоемах развивается сильное волнение, которое может частично разрушить берега. Могуг 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. |
| XI | **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 ] 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 малозависимые 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. |
| XII | **Катастрофические, очень крупные необратимые деформации и изменения параметров окружающей среды.** Разломы на земной поверхности могут с пе­рерывами простираться на несколько сотен километров и иметь смещения дли­ной в несколько десятков метров. Очень много открытых трещин в грунтах и слабосцементированных отложениях. Развиваются гравитационные грабены, уд­линенные депрессии, складки и бугры выпучивания и давления. Дренажные 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. |

1. \* Соавторы Ю.А. Бержинский, В.А. Павленов, П.С. Шерман. Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2005. Вып. 2. – С. 101–115. [↑](#footnote-ref-1)